

# ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA EN ENTORNOS URBANOS. CASO DE SANTIAGO DE COMPOSTELA.

Cagiao J., Suárez J.; Puertas J. y Jácome A.

Tel.: +34 (981) 16.70.00; Fax: +34 (981) 16.71.70

e-mails: [cagiao@iccp.udc.es](mailto:cagiao@iccp.udc.es), [suarez@iccp.udc.es](mailto:suarez@iccp.udc.es), [puertas@iccp.udc.es](mailto:puertas@iccp.udc.es),  
[jacome@iccp.udc.es](mailto:jacome@iccp.udc.es)

E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Campus de Elviña. 15071  
La Coruña. ESPAÑA

## INTRODUCCIÓN.

Los primeros esfuerzos en depuración de aguas residuales se centraron en el control de los vertidos puntuales de origen urbano e industrial. Después de un fuerte desarrollo en sistemas de tratamiento se comprobó que en muchos países la calidad de las aguas no era todavía satisfactoria (Ellis, 1991). Se observó que una gran parte del problema era originado por los vertidos intermitentes que se producían durante y después de las lluvias desde los alcantarillados unitarios de los núcleos urbanos. Este tipo de vertidos se denominan "reboses de alcantarillado unitario" (RAU), descargas de sistemas unitarios (DSU), alivios de tormenta (C.H.N., 1995), o "Combined Sewer Overflows" (CSO), en la literatura anglosajona. Fue en EE.UU. donde por primera vez se reconoció la importancia de este problema en la "Federal Water Control Act Amendments" de 1972. Después de años de estudios de caracterización de este tipo de sucesos se propusieron las medidas de control pertinentes y se comprobó el elevado coste económico que suponía minorar la contaminación que era vertida al medio acuático a través de este tipo de vertidos ("Cost Methodology of Combined Sewer Overflows and Storm Discharges", EPA-430/9-79-003). A pesar de que desde esos años se llevan invertidos muchos recursos en el conocimiento y control del problema todavía hoy sigue siendo una de las principales causas de contaminación del agua (Moffa, 1990; Malgrat, P., 1995; Witte, J., 1997).

En Europa el control de la contaminación del agua de origen urbano siguió pautas similares a las de EE.UU. y concluyó también, al término de la década de los 80, que la eliminación o minimización de los reboses de los sistemas unitarios debía considerarse como objetivo prioritario en los planes de saneamiento y mejora de la calidad del agua de los sistemas acuáticos (Ellis, 1991). La Directiva 91/271 sobre tratamiento de aguas residuales es, sin embargo, poco explícita en relación con este problema. Sólo cita de forma genérica que todo tipo de agua que entre en una red unitaria deberá ser tratada y cita de forma explícita la necesidad de minimizar los vertidos de las aguas de tormenta. Deja a los estados miembros la libertad de limitar la contaminación

del agua de los reboses mediante el establecimiento de una determinada dilución en un momento del vertido o la imposición de un número máximo de reboses al año (Valirón, F., Tabuchi, J, 1992).

En España, en donde predomina el alcantarillado unitario, el problema es evidente. Sin embargo, sólo muy recientemente, como en el "workshop" realizado en Benicassim en 1995, se destacó la importancia de este problema (Malgrat, P. 1995); asimismo, el MOPTMA diseñó a partir de los consejos del grupo "Grupo Avanzado de Drenaje Urbano (GADU)" de la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento (AEAS), el "Programa Nacional para la Medida de la Calidad de las Descargas de Alcantarillado Unitario a los Medios Receptores", que tiene prevista su aplicación a diferentes ciudades españolas.

Actualmente, se admite que el control de los RAU debe realizarse bajo el principio de la "Gestión Integrada", considerando todas las relaciones que se establecen entre: A) lluvia, C) superficie de cuenca C) sistema de colectores; C) estación depuradora; D) medio receptor (Marsalek-Sttimhar, 1994) aplicando siempre las que son definidas como "métodos de gestión racional" (BMP- "Best Management Practices") (Horner, Skupien, 1994). Para poner en práctica estas medidas se necesita tener un buen conocimiento de los siguientes puntos:

1. Objetivos de calidad del agua en el medio receptor.
2. Medida y análisis de las lluvias.
3. Modelos de transformación de lluvia-escorrentía.
4. Caracterización (caudales, concentraciones, distribución granulométrica de los sólidos) y modelado de los reboses.
5. Comportamiento de la estación depuradora frente a variaciones de caudal y carga.
6. Capacidad autodepuradora del medio receptor.

Los impactos de los R.A.U. pueden ser muy negativos. Determinan una pérdida muy importante de la eficacia del sistema, cuyo fin es la protección del medio acuático receptor. Las insuficiencias de la red de drenaje frente a la lluvia da lugar a inundaciones en la cuenca, con las consiguientes molestias al ciudadano y los demás problemas que en general conllevan. La incorporación de sistemas de control y tratamiento de estos reboses, determina una nueva relación entre las fuentes de contaminación y caudal, los sistemas de transporte y el medio receptor.

Una visión integral de la gestión del sistema que minimice los impactos y permita alcanzar los objetivos de transporte y mantenimiento de la calidad del agua fijados obliga a desarrollar una estrategia de control total de la contaminación. La contaminación que se permita entrar a la red de saneamiento desde la cuenca (por escorrentía o por aguas residuales urbanas), las transformaciones que dicha contaminación sufra en la red, la capacidad de transporte de la red y las diluciones que se permitan en los reboses, los sistemas de control y tratamiento que se implanten a lo largo de la red, determinarán qué tipo de aguas residuales, caudales y cargas recibirá la EDAR, que condicionarán

su diseño y sus estrategias de explotación (Suárez, J.; Tejero, I.; 1995). La gestión de los R.A.U va a ser siempre difícil tal y como se pone de manifiesto analizando simplemente uno de los factores, la lluvia, de naturaleza estocástica, por lo que será imposible una protección absoluta del medio receptor.

Por otra parte, la concentración de actividades humanas genera deposición de polvo, suciedad, arenas, materia orgánica, nutrientes, metales pesados, tóxicos y contaminación bacteriológica sobre las superficies. Estos materiales son lavados y arrastrados por la escorrentía superficial, y al final acaba aumentando la contaminación de las aguas receptoras. Al depositarse los materiales que iban en suspensión los organismos mueren al quedar enterrados. Los nutrientes contribuyen a la mejora de la productividad pero pueden generar problemas de eutrofización. La materia orgánica biodegradable genera descensos en los niveles de oxígeno disuelto. Los metales pesados, los hidrocarburos y la sal pueden ejercer efectos crónicos o de toxicidad aguda sobre los ecosistemas acuáticos. El vertido de contaminación bacteriológica por las aguas de escorrentía puede generar riesgos para la salud. Todos estos impactos perturban los posibles usos de la masa de agua receptora.

Las cargas contaminantes anualmente vertidas al medio receptor por las aguas de escorrentía son del mismo orden de magnitud que las vertidas por la red de aguas residuales tras tratamiento convencional, al menos para contaminantes como los sólidos en suspensión. Los vertidos de nutrientes y metales pesados desde sistemas separativos y por R.A.U. desde sistemas unitarios son comparables, calculados por área de superficie pavimentada.

## CARACTERÍSTICAS DE LA CONTAMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA URBANA.

### *1.- Fuentes de contaminación difusa urbana*

En general, las fuentes de contaminación pueden ser clasificadas en dos categorías: fuentes puntuales y fuentes difusas. Se habla de fuentes puntuales cuando la contaminación es aportada al medio través de un colector o canal en un lugar concreto; son vertidos de fácil localización y su origen puede ser determinado relativamente bien. Las fuentes difusas, o no localizables, son aquellas cuya contaminación se origina, y se encuentra dispersa, en zonas muy extensas; su control, ya sea en su generación, o en su acceso a los sistemas acuáticos, es muy difícil.

Una fuente clara de aporte de contaminación a los sistemas acuáticos es la escorrentía superficial. La escorrentía, generada a partir de los sucesos de lluvia, disuelve y arrastra los materiales de todo tipo que se encuentran depositados en la superficie. Evidentemente, como consecuencia de las diferentes actividades y usos que se realizan en ellas, una cuenca natural, una cuenca rural, una cuenca urbana o una cuenca industrial, tendrán aguas de escorrentía con muy diferentes tipos y cargas de contaminación. En el primer caso, en una cuenca natural, se podría hablar de impurificación natural.

La contaminación difusa se caracteriza por (Novotny, 1991 y Deutsch, 1989):

- Acceder al medio receptor a través de vertidos intermitentes que están ligados a un fenómeno de naturaleza aleatoria: la lluvia.
- Contaminación procedente de zonas muy extensas, incluso aunque se suponga la existencia de lugares de almacenamiento como las cunetas o la misma red de drenaje.
- Vertidos con una alta variabilidad en concentraciones tanto en el tiempo, durante un mismo suceso, como de un suceso a otro. Las concentraciones medias pueden variar en una relación de 1 a 40 para un mismo parámetro y en una misma cuenca vertiente.
- Contaminación muy difícil de muestrear en origen.
- Las materias en suspensión transportadas por las aguas pluviales son de naturaleza esencialmente mineral (su fracción orgánica es del orden del 30%).

Son muy diversas las causas de la contaminación de la escorrentía superficial urbana. La lluvia y la nieve atrapan contaminantes presentes en la atmósfera en su caída; una primera fracción de la misma se emplea en mojar las superficies, otra se evapora y otra queda atrapada en huecos y depresiones del terreno. Si sigue lloviendo, el agua se moviliza hacia los puntos de recogida, drenando las superficies y, a su vez, limpiando y transportando en disolución o en suspensión los contaminantes acumulados.

La contaminación de la escorrentía urbana llega a los sistemas receptores a partir de dos tipos de vertidos: los directos desde la red de pluviales de un sistema de saneamiento separativo y los vertidos procedentes de sistemas de saneamiento unitario. Cuando se producen los reboses de los sistemas de alcantarillado unitario, además de la contaminación propia de la escorrentía superficial urbana, se vierte al medio receptor contaminación de las aguas residuales urbanas de tiempo seco (parte de la que ya estaba siendo transportada por los colectores y parte de la que se había depositado en los mismos como consecuencia del régimen hidráulico existente en tiempo seco; ésta última será resuspensionada y arrastrada ante las nuevas condiciones hidráulicas).

## *2.- El fenómeno de acumulación de contaminación en la superficie de la cuenca.*

Sartor, Boyd y Agardy (1974) realizaron una de las investigaciones pioneras en este campo; sus conclusiones sobre la acumulación de suciedad en la superficie de una cuenca han servido de guía para los investigadores posteriores. Estas conclusiones fueron:

- La escorrentía procedente de la superficie de las calles, generalmente, está muy contaminada.
- El constituyente principal de los contaminantes en la superficie de las calles es inorgánico, material mineral, similar a arena o limo.



- La cantidad contaminante que hay en esa zona depende del tiempo transcurrido desde la última vez que el área fue limpiada, bien manualmente bien por un aguacero.
- La cantidad contaminante presentes en diferentes calles es muy diferente.
- Una gran parte de la contaminación potencial está asociada con la fracción fina de los sólidos presentes en las calles.
- El cálculo de la DQO proporciona una buena base para estimar la demanda potencial de oxígeno.
- Los contaminantes no se distribuyen uniformemente a lo largo de las calles.
- La velocidad a la que un aguacero levanta la materia en forma de partículas de la superficie de la cuenca depende de tres factores: intensidad del aguacero, características de la superficie de la calle y tamaño de las partículas.

Las prácticas habituales de limpieza son, fundamentalmente, para lograr propósitos estéticos. Incluso mediante una correcta operación y con unos programas de limpieza adecuados su eficiencia en la eliminación de la fracción fina de la suciedad de las calles es baja. El esfuerzo necesario en la limpieza viaria para eliminar la fracción más fina de la suciedad es varias veces el esfuerzo habitual en las operaciones de limpieza.

Los imbornales con depósito son efectivos para la eliminación de sólidos inorgánicos gruesos (arena gruesa y gravilla) procedentes de la escorrentía, pero son ineficaces en la eliminación de los sólidos finos y de la mayor parte de la materia orgánica.

Diferentes autores han investigado la evolución en el tiempo de los depósitos acumulados en las superficies impermeables de las calles. En la figura 1 se muestra esta acumulación como función del tipo de cuenca y del tiempo transcurrido desde la última limpieza o lluvia.

### **3.- Lavado del polvo y la suciedad acumulada en la cuenca.**

Sartor y Boyd (1977) detallaron los diferentes mecanismos implicados en el lavado superficial de los contaminantes de las calles; en líneas generales el proceso consta de:

- Separación del contaminante de la superficie de la calle.
- Transporte de las partículas hacia las cunetas.
- Transporte de las partículas desde las cunetas hacia la alcantarilla.
- Transporte dentro de los conductos.

Los contaminantes son eliminados de la superficie por dos mecanismos que parecen actuar simultáneamente:

- Las fracciones solubles van en disolución y las posteriores gotas de lluvia originan una turbulencia que favorece la mezcla y proporcionan un aporte continuo de disolvente limpio.

- La materia en forma de partículas y con tamaños que van desde granos de arena hasta coloides se desagrega por el impacto del agua de lluvia que cae. Una vez desagregadas las partículas pueden mantenerse en un estado de pseudosuspensión debido a la turbulencia creada por las gotas de lluvia adicionales.

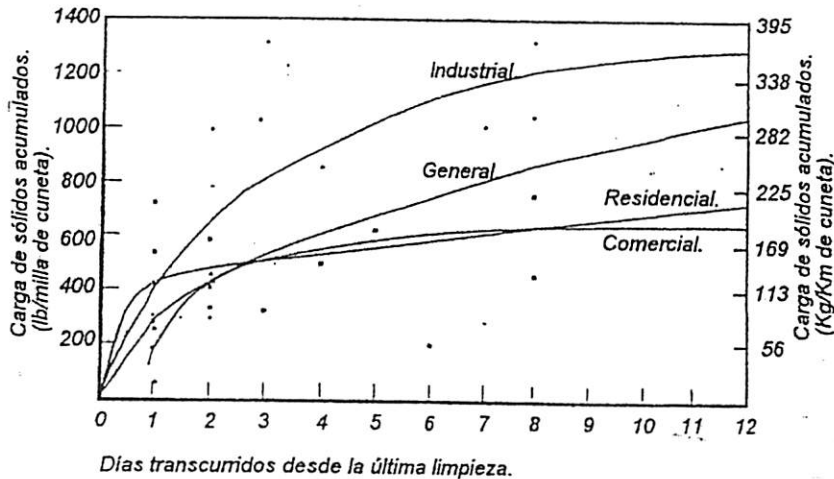


Figura 1. Acumulación de suciedad para diferentes tipos de cuencas (Sartor y Boyd, 1972, modificadas por Temprano, 1996)

#### 4. El fenómeno del primer lavado

Un fenómeno asociado con las características de la contaminación acumulada y con la lluvia es el fenómeno llamado "primer lavado" ("first flush" en la literatura anglosajona o "premier flot" en la francesa). Este fenómeno consiste en que una elevada proporción de la masa acumulada de contaminantes es lavada en la parte inicial de la lluvia.

Thornton y Saul (1996), así como Pearson et al. (1986) definen el primer lavado como el periodo inicial de un suceso de lluvia-escorrentía en el que la concentración de contaminante es significativamente superior a la observada durante las etapas posteriores del aguacero.

De entre los factores que influyen en el primer lavado cabe mencionar (Gupta et al., 1996):

- Hora del día
- Condiciones de tiempo seco
- Duración del periodo de tiempo seco previo
- Magnitud y características del contaminante en tiempo seco.
- Caudales de lluvia
- Características de la red de alcantarillado.
- Forma y área de la cuenca drenante
- Sedimentos acumulados en la red.

Un método muy sencillo (Griffin, 1980) para estimar si se produce el primer lavado consiste en representar en unos ejes cartesianos el porcentaje de volumen de escorrentía frente al porcentaje de masa de contaminación que ha atravesado la sección de control. Si los puntos se sitúan en una recta de 45° no hay primer lavado. El grado de alejamiento hacia la parte superior izquierda de dicha recta indica el grado de primer lavado existente.

Stahare y Urbonas (1990) sugieren que se da un primer lavado fuerte cuando el 20% de la escorrentía contiene el 80% de la masa de contaminante.

Esta curva puede ajustarse a una expresión del tipo:

$$Y=X^a$$

En donde:

Y = porcentaje de la carga contaminante.

X = porcentaje del volumen de escorrentía.

El valor de "a" caracteriza el grado de desviación de la curva respecto de la recta situada a 45°.

Saget et al. (1996) consideran que se origina primer lavado cuando, al menos, el 80% de la carga contaminante es transferida en el primer 30% del volumen, es decir,  $a < 0.185$ .

La mayoría de los parámetros "a" oscilan, en redes separativas, entre 0.185 y 0.862, y en redes unitarias, entre 0.185 y 1.159.

## ESTUDIOS EN SANTIAGO DE COMPOSTELA

### 1. *Estudio de la cuenca y subcuencas.*

Santiago de Compostela es la capital de la Comunidad Autónoma de Galicia. Con una población creciente de más de 100.000 habitantes es la tercera ciudad de Galicia. Se encuentra situada entre dos ríos, el Sar y el Sarela, afluente del primero, que fueron el motivo de que surgiera el germen de la ciudad y que son en la actualidad los que más presión reciben de la misma.

El sistema de colectores interceptores tiene forma de "Y" y discurre paralelo a los ríos Sar y Sarela. Su estado de conservación no es bueno, permitiendo que aguas fluviales penetren en las conducciones en algunos puntos. Por supuesto, en época de lluvias, y a través de los numerosos aliviaderos, se vierten a los dos ríos las aguas que no pueden ser transportadas a la estación depuradora de aguas residuales (E.D.A.R.) de Silvouta. Un elevado volumen de agua, con una importante carga contaminante, se vierte sistemáticamente durante estos sucesos a ambos ríos.

Las subcuencas que están siendo estudiadas actualmente son "El Ensanche" y "Fontiñas". "El Ensanche" está totalmente urbanizada (94.5% impermeable), con una superficie de 45 hectáreas y una población de unos 30.000 habitantes. Posee una pendiente media acusada (4-13%) y dispone de un sistema de saneamiento de tipo unitario de 10 Km de longitud. Se trata de una zona de alta densidad de población y fuerte tráfico rodado. La subcuenca drena al río Sar. En el punto de desagüe se situó una sección de control con

instrumentación para medición de caudales y parámetros de calidad. La subcuenca "Fontiñas" posee una red separativa con una superficie de 45 hectáreas, 65% urbanizado (uso residencial), y una pendiente media de un 6%.

## **2. Datos de campo**

Los datos de campo necesarios para nuestro estudio se dividen en dos tipos:

- Datos de modelo, para introducir en el modelo hidráulico y de calidad, y son: lluvia, topografía de la superficie urbana, topología de la red de conductos, caudal base (aguas fecales y parásitas) y su caracterización durante tiempo seco, información sobre la acumulación de polvo y suciedad en superficie según usos del suelo, etc.
- Datos de calibración del modelo, es decir, para el proceso mediante el cual se ajusta el modelo numérico para que los resultados simulados se asemejen a los observados (sección de control). Dichos datos son: caudales, para la calibración hidráulica, y parámetros de contaminación (SST, SSV, SDT, SDTV, DQO, DBO5, metales pesados, hidrocarburos) para poder efectuar la calibración de calidad.

## **3.- Modelización**

Para llevar a cabo la modelización de la cuenca se ha utilizado en primera instancia el programa llamado SWMM ("Storm Water Management Model") de la Agencia de Protección Ambiental de los USA (EPA).

Dicho modelo está dividido en varios bloques que se traspasan información de uno a otro. Se han empleado los siguientes bloques: 1) RUNOFF, que genera los hidrogramas y polutogramas de la escorrentía a partir de los datos de lluvia y las características de contaminación en superficie; 2) EXTRAN, que simula el flujo hidráulico en la red de conductos empleando las ecuaciones completas de Saint Venant; 3) TRANSPORT, que simula el flujo de contaminantes a través de la red hasta nuestra sección de control.

## **4. Primeros resultados.**

### **3.4.1.- Hidráulica**

Actualmente, el modelo hidráulico de la cuenca de "El Ensanche" está calibrado, según se desprende de la figura 2, en la que se comparan los hidrogramas simulado y real en el punto de desagüe de la cuenca.



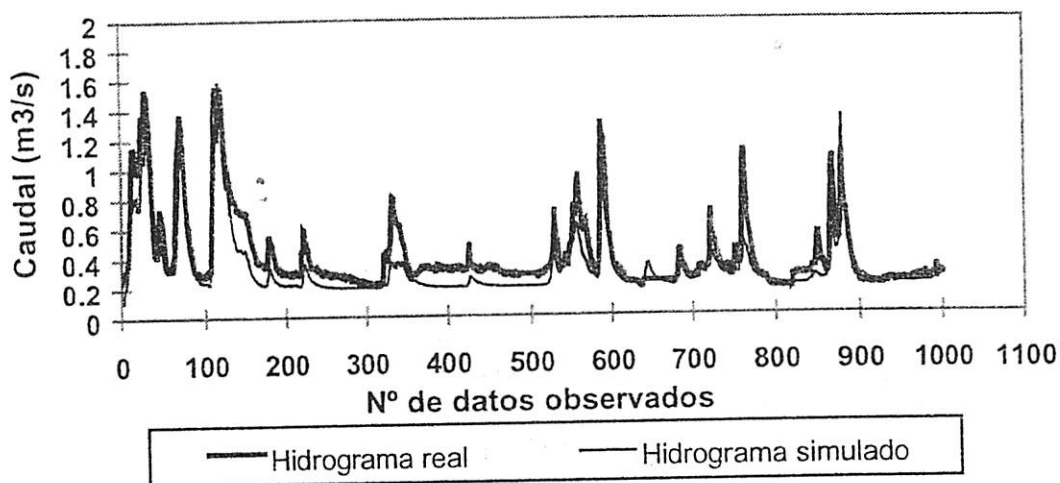


Figura 2. Ajuste de la escorrentía con el modelo SWMM en la cuenca "El Ensanche".

### 3.4.2.- Contaminación

En la figura 3, se presenta la caracterización de un suceso de tormenta (RAU) que produjo un lavado de la ciudad, provocando que las concentraciones de SS, metales pesados e hidrocarburos aumentasen de una forma muy significativa.

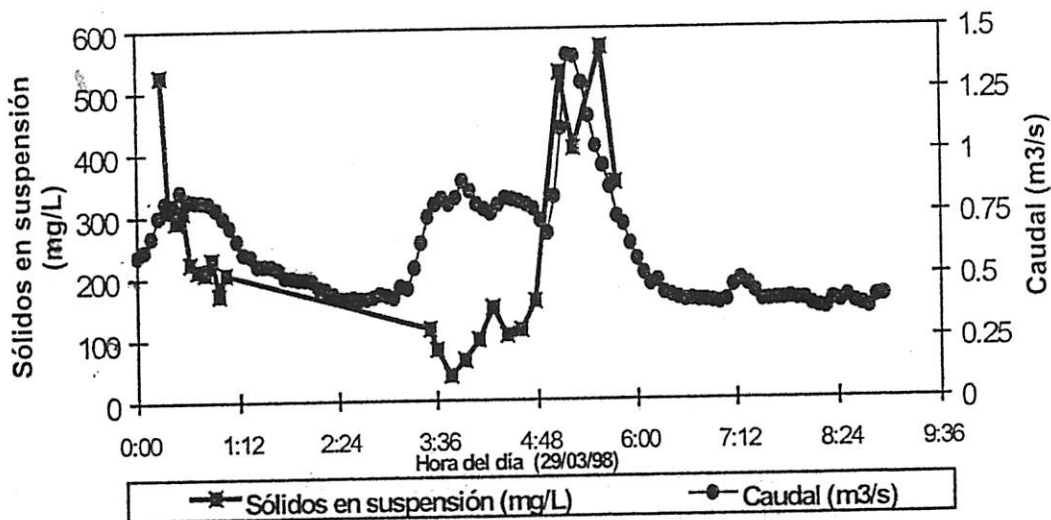


Figura 3. Suceso R.A.U. caracterizado

Se ha estandarizado el registro de los sucesos RAU en unas fichas tipo en las que se recogen unos parámetros específicos para cada suceso, que facilitarán la realización de un posterior análisis correlacional de todos los sucesos de tormenta registrados, permitiendo obtener unas tendencias que definirán la movilización y vertido de contaminantes en tiempo de lluvia, tanto

en cada cuenca como en la ciudad. Esta fase es fundamental para posteriormente definir las estrategias de control de la contaminación para cada cuenca.

A continuación se presentan un gráfico (Figura 4) que describe el fenómeno de movilización de sólidos y contaminantes del suceso anteriormente presentado (análisis de primer lavado).

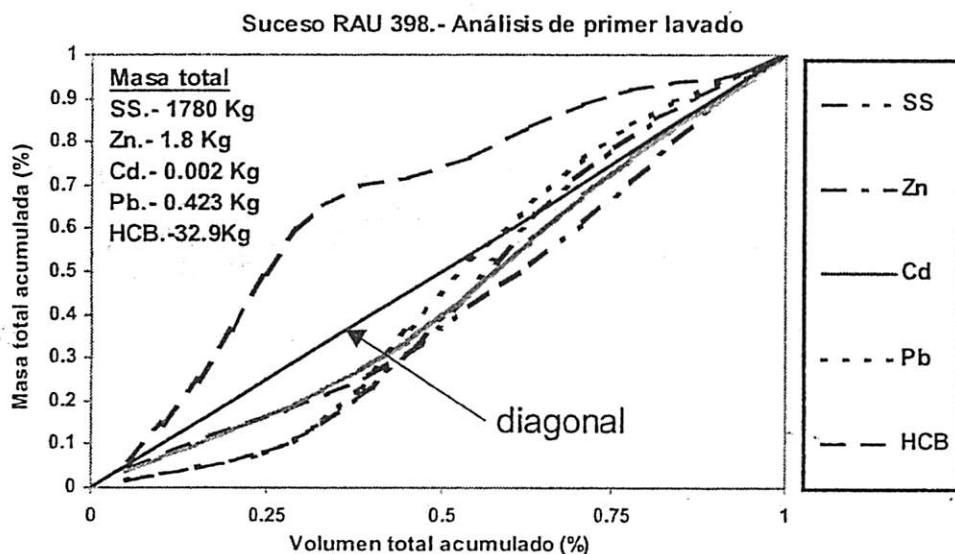


Figura 4. Análisis de Primer Lavado. Cuenca de "El Ensanche".

## CONCLUSIONES.

Del contenido de la presente comunicaciones se pueden aportar las siguientes conclusiones:

- Es necesario el control de la contaminación difusa aportada por las aguas de escorrentía urbana y los R.A.U. si se quieren proteger con garantías, o restaurar, los usos de los sistemas acuáticos receptores.
- Si bien el comportamiento hidrológico-hidráulico de una cuenca urbana se puede conocer "relativamente" bien con un coste "asumible", el comportamiento en cuanto a lavado, transporte y transformación de la contaminación durante los sucesos de lluvia precisa de una mayor inversión en esfuerzos y dinero. Esfuerzos y dinero que ya han sido asumidos por otros países de nuestro entorno hace décadas.
- Los modelos de simulación numérica no pueden, ni deben, sustituir a la caracterización de campo, ya que es necesario calibrar dichos modelos y, además, porque cada cuenca tiene un comportamiento singular que debe ser analizado, por lo menos, en un número mínimo de fenómenos (primer lavado, granulometrías de los sólidos, concentración medias de sucesos, etc.).
- Ante una estrategia de implantación de un sistema de control y/o tratamiento (bien en la superficie de la cuenca, en la red de alcantarillado

ó en la EDAR) es preciso un conocimiento "exhaustivo" del comportamiento de la cuenca drenante en cuanto a hidráulica y a movilización de los contaminantes (tipos, flujos máxicos, forma en que se presentan, etc.). Aplicar criterios de diseño de forma sistemática puede conducir a soluciones que no resuelvan los problemas.

## BIBLIOGRAFÍA

- CAGIAO, J.; DÍAZ-FIERROS, F.; JÁCOME, A.; PUERTAS, J.; SUÁREZ, J.; (1998); "The early stages in the CSO characterisation in the city of Santiago de Compostela (Spain)"; UDM '98; Fourth International Conference on Developments in Urban Drainage Modelling; 21-24 september; IAWQ, IAHR, UNESCO, vol. 2; pag. 643-648.
- CAGIAO, J.; DÍAZ-FIERROS, T.; VÁZQUEZ, F.; SUÁREZ, J. y PUERTAS, J.; (1999); "A numerical and experimental model of a separative catchment in the North of Spain"; 8ICUSD 8th International Conference on Urban Storm Drainage; 30 agosto-3 septiembre 1.999, Sydney-Australia; editors: B. Joliffe y James E. Ball; vol. 2; pags. 964-972.
- CAGIAO, J.; DÍAZ-FIERROS, T.; PUERTAS, J.; SUÁREZ, J.; (1998); "A numerical and experimental model of an urban catchment in the north of Spain: parameter fitting and analysis of its behaviour"; UDM '98; Fourth International Conference on Developments in Urban Drainage Modelling; 21-24 september; IAWQ, IAHR, UNESCO, vol. 1; pag. 643-648.
- CAGIAO, J.; VÁZQUEZ, F.; PUERTAS, J.; DÍAZ-FIERROS, T.; SUÁREZ, J.; (1998); "La problemática de los reboses de alcantarillado unitario en entornos urbanos: caso de Santiago de Compostela y su incidencia en la calidad de las aguas del río Sar"; CIMA98; V Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente; 17-20 noviembre (Ciudad La Habana, Cuba).
- CANO, A.; TEJERO, I.; (1996); "Contaminación de la escorrentía superficial en un área metropolitana de la ciudad de Santander"; Tesina de Máster de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, E.T.S. de Ing. de Caminos, C. y P., Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL NORTE DE ESPAÑA; (1995); "Metodología de estudio de los saneamientos litorales"; Oviedo, diciembre de 1995; 200 páginas.
- ELLIS, J.B.; (1991); "Measures for control and treatment of urban runoff quality"; Rep. DT3PL/FV/JB; Agence de léau Seine-Normandie.
- GUPTA, K.; SAUL, A.J.; (1996); "Suspended solids in combined sewer flows"; Wat.Sci.Tech., 33 (9), pags. 93-99.
- MALGRAT, P.; (1995); "Panorámica general de la escorrentía de aguas pluviales como fuente de contaminación. Actuaciones posibles"; "Calidad de aguas e impacto en medios receptores por vertidos procedentes de drenajes urbanos y agrícolas"; Workshop Benicassim, 28 Nov. 1 Dic..

- MOFFA, P.E.; (1990); "Control and treatment of combined sewer overflows" Environmental Engineering Series; Van Nostrand Reinhold; ISBN 0-442-26491-7; Nueva York, 229 págs.
- NOVOTNY, V; WITTE, V.W.; (1997); "Ascertaining aquatic ecological risks of urban stormwater discharges"; Water Res. 31, 10; 2573-2585.
- SAGET, J.D.; CHEBBO, G.; Bertrand-Krajewski, J.L.; "The first flush in sewer systems"; Wat.Sci.Tech., 33 (9); pags. 101-108.
- SUÁREZ, J.; TEMPRANO, J.; JIMÉNEZ, R.; TEJERO, I; (1995); "Depuración de aguas residuales urbanas en tiempo de lluvia. Panorámica general"; "Calidad de aguas e impacto en medios receptores por vertidos procedentes de drenajes urbanos y agrícolas"; Workshop Benicassim, 28 Nov. 1 Dic.

**AVANCES EN INGENIERÍA  
AMBIENTAL.  
LIBRO DE TEXTOS  
COMPLETOS DE LAS  
JORNADAS INTERNACIONALES  
DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Volumen: 2**

**AGUAS**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA  
Departamento de Ingeniería Química  
y Ambiental



UNIVERSIDAD  
DE MURCIA

CARTAGENA DEL 9 AL 10 DE ENERO DE 1999