

CONTAMINACIÓN EN REDES DE ALCANTARILLADO URBANO EN TIEMPO DE LLUVIA: CONTROL EN ORIGEN

Javier Temprano González.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Marcelo Gabriel Cervigni.

Ingeniero Civil. Master en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Joaquín Suárez López.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Profesor Titular Interino de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. E. T. S.
de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de La Coruña.*

Juan Ignacio Tejero Monzón.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Catedrático de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Dpto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente.

E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander.

Equipo de Calidad de Aguas. Universidad de Cantabria.

RESUMEN

En muchos casos los rebosamientos de las estructuras de regulación de una red de alcantarillado en tiempo de lluvia originan problemas de contaminación que, a veces, impiden alcanzar los objetivos de calidad deseados para el medio receptor.

En el presente artículo se hace una revisión bibliográfica de algunos métodos que, sin precisar una obra en la estructura de la red de saneamiento, permiten reducir la contaminación de las aguas del rebose.

ABSTRACT

Overflows from regulatory structures in a sewer system in the rain season often cause pollution that affects the quality of the receiving waters. Some methods to reduce this pollution in overflow water without having to introduce modifications in the sanitary sewer system are examined in this paper.

artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
mayo de 1996.

Recibido en ROP:
diciembre de 1994

INTRODUCCIÓN

Los dos tipos de redes de alcantarillado más habituales son las unitarias y las separativas. Una red de alcantarillado unitaria transporta aguas residuales en tiempo seco, y aguas residuales y pluviales mezcladas en tiempo lluvioso; las redes separativas tienen conducciones independientes para el agua residual y para el agua de lluvia. El presente artículo se centra en la contaminación en redes unitarias en tiempo de lluvia, sin embargo, la mayor parte de las consideraciones y conclusiones que se presentan en las siguientes páginas son aplicables a la conducción de aguas pluviales de los sistemas separativos (no hay que olvidar que el agua pluvial que llega al final de la red dista mucho de estar exenta de contaminación).

Las redes unitarias constituyen, generalmente, la parte más extensa de las infraestructuras ya existentes, particularmente en áreas urbanas viejas. Los reboses de los alcantarillados unitarios en período lluvioso al medio receptor, originaron y originan problemas de contaminación que, a menudo, han impedido alcanzar los objetivos de calidad deseados. En muchas ocasiones, todos los logros conseguidos en la calidad de las aguas mediante estrategias de tiempo seco se reducen o anulan por estos fenómenos. Los contaminantes contenidos en los reboses, entre los que se pueden destacar: microorganismos patógenos, nutrientes, sólidos, DBO, metales y otros constituyentes potencialmente tóxicos; pueden causar efectos adversos en las aguas receptoras.

El caudal de aguas residuales en un alcantarillado unitario está constituido, principalmente, por la escorrentía originada por las precipitaciones (es decir, las aguas pluviales) y por las aguas residuales. Estas últimas entran continuamente a la alcantarilla unitaria, tanto en tiempo seco como en tiempo lluvioso. El flujo de agua en tiempo seco puede incluir aguas residuales domésticas, co-

merciales e industriales, así como agua proveniente de la infiltración. Durante una tormenta, el caudal originado por la precipitación es, normalmente, mucho mayor que el de tiempo seco. Este es el motivo por el cual los caudales observados durante el tiempo lluvioso encubren completamente, casi siempre, el caudal de tiempo seco.

Las aguas residuales mezcladas son la combinación de las aguas residuales y de las aguas pluviales, más la resuspensión del material sedimentado en la red con anterioridad al momento de la lluvia.

Del análisis bibliográfico (Tejero J. I., 1993), es posible, para algunos parámetros analíticos, establecer unos rangos de variación y unos valores promedio (ver la Tabla 1) para las aguas procedentes de la escorrentía superficial.

Generalmente, la escorrentía fruto de las precipitaciones, contribuirá a las aguas residuales mezcladas con un gran volumen de agua, de mejor calidad que el de las aguas residuales. Debido a la gran variabilidad de los sucesos de lluvia, área de drenaje, características particulares del agua residual, etc., las características de las aguas residuales mezcladas tienden a ser altamente variables de un lugar a otro. En la Tabla 2 se muestran algunos valores de diferentes parámetros correspondientes a agua mezclada.

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 (OCDE, 1982). Este es uno de los motivos por los que se han desarrollado medidas de control de los reboses tendentes a resolver el problema, no sólo afectando a las plantas de tratamiento de aguas residuales sino a las redes de alcantarillado unitario y a una extensa variedad de métodos de control previos al rebose. Sobre estos dos últimos puntos se hará énfasis en

TABLA 1.
Rangos de variación de diferentes parámetros analíticos correspondientes al agua de escorrentía.
Valores medios. (Tejero J. I., 1993)

	DBO ₅	DQO	SS	C. Fec.	N. Total	P. Total
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	Nº/100ml	mg/L	mg/L
Rango	9-38	60-200	100-450	104-106	1,2-6	0,1-1,7
Promedio	20	105	195	105	2,7	0,5

TABLA 2.
Rangos de variación de diferentes parámetros analíticos correspondientes al agua mezclada.
Valores medios. (Tchobanoglous G., 1991)

	SS	DBO ₅	DQO	C. Fec.	NTK	P. Total	Plomo
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100ml	mg/L	mg/L	µg/L
Rango	270-550	60-220	260-480	2·10 ⁵ -1,1·10 ⁶	4-17	1,2-2,8	140-600

el desarrollo del artículo. Las medidas de control de la contaminación se pueden clasificar de varias formas:

Según el grado de intervención en la estructura de la red:

▼ medidas no estructurales: son aquellas que no precisan una actuación en la estructura de la red. Ejemplos de este tipo de medidas son: pavimentos porosos, limpieza de calles, limpieza de sumideros, lavado de alcantarillas, etc.

▼ medidas estructurales: para adoptar este tipo de medidas es preciso operar en la estructura de la red. Se pueden incluir desde la modificación de los volúmenes de almacenamiento de algunos aliviaderos hasta la construcción de sistemas de control y tratamiento de reboses.

Según el lugar del sistema de alcantarillado donde se apliquen:

▼ control en origen: son aquellas medidas que se aplican a elementos del sistema de drenaje previamente a su incorporación a la red de saneamiento. Pertenecen a este grupo el cambio del tipo de superficie urbana, la retención de la escorrentía, la limpieza de calles, etc.

▼ control de vertidos: son las aplicadas a elementos de la red de alcantarillado. Por ejemplo: almacenamiento en la red, almacenamiento fuera de línea, combinaciones de los dos anteriores (Sistemas de Control y Tratamiento de Reboses), tecnologías de tipo Vórtex, etc.

Las medidas no estructurales coinciden, en general, con el control en origen; por su parte las medidas estructurales lo hacen con el control de vertidos. En el resto del artículo se va a utilizar la primera clasificación.

Se pueden distinguir tres fuentes de contaminación que afectan a la cantidad y calidad de la escorrentía, y sobre las que se puede actuar en mayor o menor medida:

▼ la contaminación *natural*, ligada a las superficies no urbanizadas.

▼ la contaminación atmosférica.

▼ la contaminación ligada a las actividades humanas y dada en gran medida en las superficies impermeables urbanas.

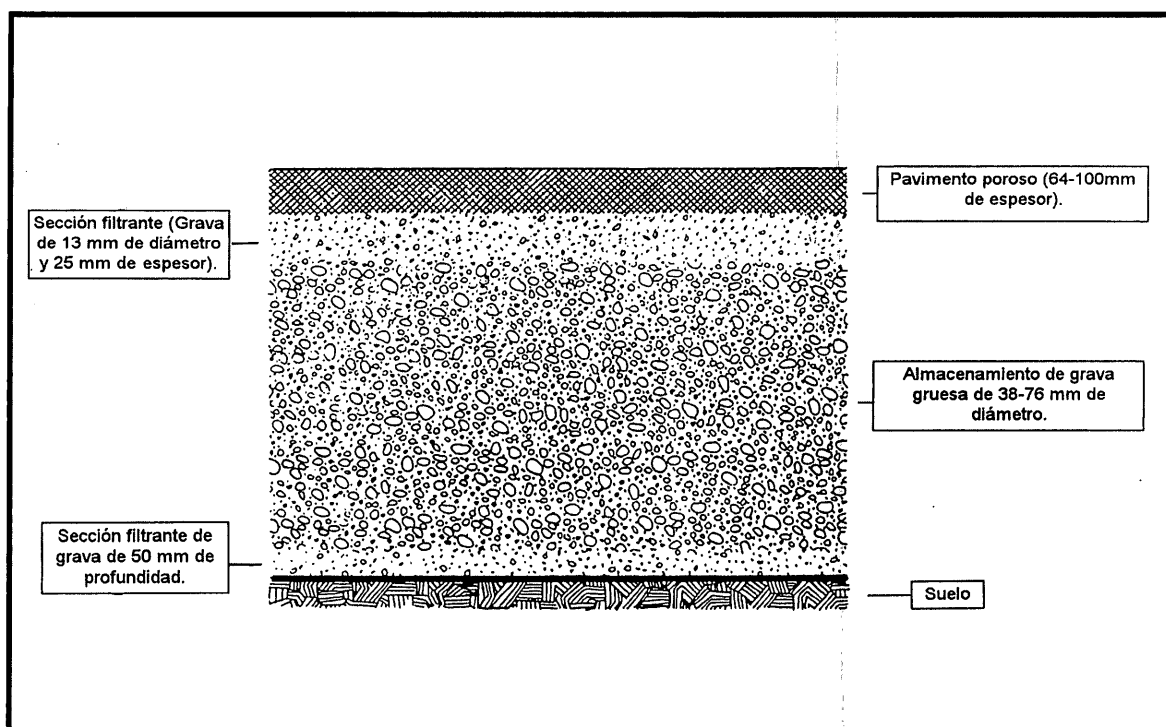
En este artículo se va a hacer una revisión bibliográfica de las *medidas no estructurales* que permiten la mejora de la calidad de los reboses de las redes de alcantarillado actuando en la tercera de las fuentes de contaminación mencionada en el párrafo anterior.

1. MEDIDAS A ADOPTAR EN LA SUPERFICIE DE LA CUENCA DRENANTE

Las medidas no estructurales en la superficie de la cuenca, generalmente no requieren inversiones elevadas. Son ejemplos de estos sistemas: los pavimentos porosos que evitan la entrada de la escorrentía en el sistema de saneamiento, dirigiéndola hacia las capas subyacentes; la retención y almacenamiento de volúmenes de agua en azoteas que demoran la entrada de la escorrentía en la red de saneamiento; o los drenes con superficie vegetal que permiten reducir la punta del hidrograma de escorrentía y aumentar la infiltración del agua pluvial en el terreno.

Otras medidas no estructurales suponen la realización de diseños adecuados para minimizar la acumulación de contaminantes en las calles y en las pequeñas estructuras de unión entre la superficie drenante y la red de alcantarillado (p. ej. los sumideros). La adopción de estas medidas disminuye las cargas contaminantes de la escorrentía

Figura 1. Sección de pavimento poroso.



de agua pluvial, por lo que también disminuyen las cargas contaminantes de los reboses, aunque normalmente no se consigue una reducción sustancial.

La aplicación de estas medidas en una escala precisa para controlar los reboses, es impracticable en muchas ciudades debido al nivel de desarrollo y ocupación existente en las mismas. Sin embargo, pueden ser necesarias en construcciones o desarrollos futuros evitando el aumento de caudales de agua pluvial en el alcantarillado unitario. La aplicación de controles puede lograrse mediante la incorporación de medidas apropiadas en las cuencas, recurriendo a ordenanzas municipales y mediante una revisión estricta de los planes de desarrollo propuestos.

En general, las medidas no estructurales pueden afectar a la cantidad y concentración de los contaminantes en los reboses, pero se debe ser realista y no confiar solamente en ellas para lograr una reducción considerable en las cargas de los reboses o en la mejora en las características estéticas de las aguas.

1.1. CAMBIO DEL TIPO DE SUPERFICIE URBANA (PAVIMENTOS POROSOS)

Una de las posibilidades más investigadas es el uso de pavimentos porosos. Esta tecnología

consiste en la instalación de un asfalto permeable, dispuesto sobre una capa de grava gruesa con suficientes huecos, actuando esta última como un depósito de retención (Tchobanoglous G., 1991).

El espacio útil, para el almacenamiento del agua de lluvia, de la capa de grava gruesa oscila entre el 20 y el 30% del espacio total ocupado (Whipple W., 1993). Así, la lluvia pasa a través de la superficie del pavimento, para ser recogida en los intersticios y drenar posteriormente por infiltración natural. Los pavimentos porosos son adecuados para áreas tales como aparcamientos y campos de deporte, obteniéndose una reducción considerable de la cantidad de escorrentía de agua pluvial que accede al sistema de alcantarillado unitario. Para su buen funcionamiento es necesaria una buena capacidad de drenaje entre las diferentes capas para que la suciedad no atasque los huecos y se maximice el proceso de infiltración.

Por ejemplo, en Florida (EE.UU) se han instalado materiales porosos en superficies de varios cientos de kilómetros cuadrados, para el control de reboses, logrando con cierto éxito los objetivos. El problema de la obturación, que habitualmente aparece en los asfaltos porosos, se ha reducido en esta localidad mediante la utilización de hormigón (Sharon, 1989). El pavimento poroso no debería instalarse donde se prevean altas cargas de sólidos procedentes de la erosión por el viento

u otras causas (Novotny V., 1992). La Figura 1 muestra una sección típica de pavimento poroso.

La ventaja principal de este tipo de superficies es la gran reducción en el caudal de escorrentía, sin embargo, también es destacable la recarga de acuíferos por el agua infiltrada y la reducción de los tamaños de los conductos de la red de alcantarillado que, de no usarse estos pavimentos, serían necesarios (Novotny V., 1992). Los pavimentos porosos no sólo presentan ventajas en cuanto a la cantidad de la escorrentía, también parecen tener cierta influencia en la mejora de la calidad del efluente. Pratt (1988) apunta la gran mejora de éste respecto a la escorrentía habitual obtenida en áreas similares donde no se usa este tipo de pavimento.

Otra solución es el uso de pavimentos modulares. Estos consisten en un material rígido, habitualmente hormigón, con separaciones regularmente distribuidas sobre su superficie y rellenos de tierra, grava o arena. Estos pavimentos se colocan sobre una base de grava y arena, en contacto con el subsuelo permeable (Whipple W., 1993; Pitt R., 1979).

Los costos de construcción del pavimento poroso son del mismo orden de magnitud, o incluso menores, que los correspondientes a un pavimento convencional cuando en el balance se incluye el ahorro de las conducciones de saneamiento (Novotny V., 1992, Lazaro T. R., 1990).

1.2. RETENCION DE LA ESCORRENTIA

En una cuenca rural, el hidrograma de escorrentía de una lluvia dada presenta significativas diferencias con respecto al que se produce en una cuenca urbana de la misma forma, área y pendiente. En la cuenca rural la duración del hidrograma es mayor, y su caudal punta es menor que el producido en la cuenca urbana y éste se presenta diferido en el tiempo. Estas diferencias se deben al distinto grado de permeabilidad de ambas cuencas; la urbana es prácticamente impermeable. El hecho de que se presenten fuertes caudales punta en cortos espacios de tiempo conduce a la construcción de sistemas de drenaje de gran tamaño.

Para retener *in situ* el exceso de escorrentía de agua pluvial se necesita su almacenamiento en un lugar del suelo urbano previo a la entrada al sistema de drenaje principal. Hay varias formas de conseguirlo (Sharon J. D., 1989):

- ▼ Retención en espacios abiertos y en áreas cubiertas de césped (plazas, paseos, a lo largo de las calles, etc.)
- ▼ Retención en las superficies destinadas a aparcamientos.
- ▼ Retención en azoteas.
- ▼ Filtración al subsuelo mediante drenes y zanjas.
- ▼ Almacenamiento subterráneo.

1.3. CONTROL DE LA EROSION DEL SUELO

El control de la erosión es importante porque las partículas del suelo contienen nutrientes y metales, además son susceptibles de una fácil sedimentación. En áreas urbanas, las zonas en las que el control debería ser más intenso son los parques y las obras. En los parques públicos los problemas de erosión pueden reducirse mediante limitaciones en el tipo de uso, redistribución de áreas y revegetación de las zonas erosionadas (E. P. A. 1988).

Ciertos materiales esparcidos por la superficie, como heno o paja pueden usarse en ciertas áreas para disminuir la energía de la lluvia. Si la mezcla de agua y partículas de suelo comienza a moverse se pueden emplear balas de paja para separar el agua de la arena y la grava. Las balas también sirven para disipar energía de las aguas y, así, reducir su capacidad erosiva (Thronson, R. E., 1973).

En general, todas las medidas que tiendan a reducir la escorrentía en la superficie de la cuenca van a evitar indirectamente la erosión del suelo.

1.4. LIMPIEZA DE CALLES

La limpieza de las calles se ha considerado históricamente como uno de los aspectos más importantes para la mejora de la calidad de la escorrentía urbana. El tamaño de las partículas presentes en las calles susceptibles de ser limpiadas por los sistemas habituales oscila entre los 75µm y los 3000µm (Valiron F., 1992). Los métodos más comunes para la limpieza de las calles son: manuales mediante escoba, barredoras mecánicas, barredoras de vacío (o por aspiración) y el lavado con manguera a presión. Este último procedimiento puede llegar a ser muy efectivo para eliminar las elevadas concentraciones de contaminantes que se producen en los reboses al comienzo de algunas lluvias, como consecuencia del arrastre de la suciedad acumulada durante el tiempo seco. El lavado periódico en tiempo seco transporta los con-

TABLA 3.
Cargas anuales eliminadas mediante barrido manual.
(Ranchet J., 1983)

Parámetros	Porcentaje de la carga anual transportada por las aguas de escorrentía eliminada mediante barrido manual.
Materias sólidas	13
DBO ₅	0,7
DQO	0,7
Plomo	1,4
Hidrocarburos	2
NTK	2,3
Fosfatos totales	1

taminantes hacia la estación depuradora de aguas residuales cuando la planta tiene capacidad hidráulica para el tratamiento (Sharon J. D., 1989).

En la cuenca de Ullis-Sud (Francia) se han estimado (Ranchet J., 1983) las cargas anuales mostradas en la Tabla 3. Estas fueron eliminadas por barrido manual (5 veces por semana) en una superficie dedicada a aparcamiento.

Las barredoras de vacío o por aspiración son las más eficaces (Ranchet J., 1983), puesto que recogen las partículas más finas acumuladas en las calles, responsables del mayor grado de contaminación de la escorrentía urbana. El 50% del peso total de la suciedad acumulada puede eliminarse mediante el barrido manual, y el 93% por aspiración.

Las investigaciones realizadas por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados

Unidos (EPA) muestran una ligera mejoría de la calidad de las aguas de escorrentía urbana como consecuencia del barrido de las calles. Las conclusiones preliminares de unos estudios llevados a cabo por este organismo en Milwaukee (EE.UU) y en Champaign (EE.UU) en 1982, muestran eficiencias de eliminación de sólidos totales en suspensión que oscilan entre un 30 y un 40%, y de metales hasta un 90 (Sharon J. D., 1989).

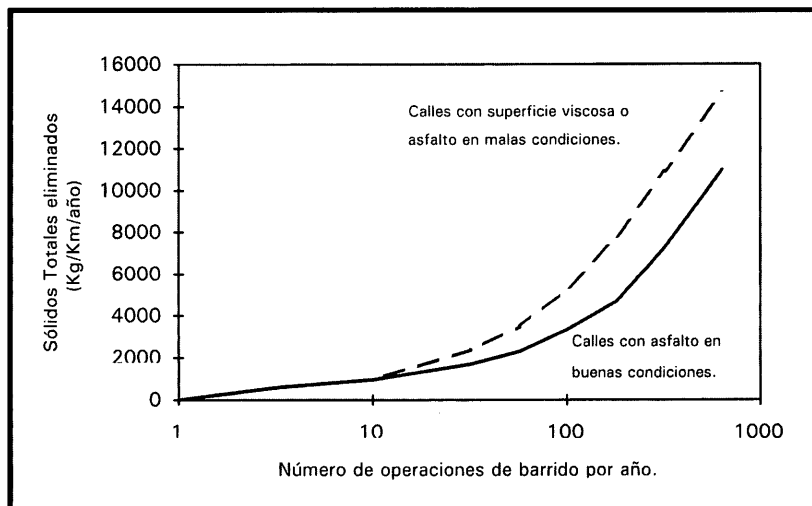
La efectividad de la limpieza de calles es función de:

- ▼ a)-El tipo de pavimento y las condiciones en que se encuentre.
- ▼ b)-La frecuencia de limpieza de las superficies.
- ▼ c)-La eficiencia de los medios manuales o mecánicos empleados.
- ▼ d)-La velocidad del equipo.
- ▼ e)-Tipo de material empleado en la limpieza.
- ▼ f)-Proximidad de los vehículos estacionados a los bordillos.
- ▼ g)-Presencia de áreas especiales como aparcamientos.
- ▼ h)-Cantidad inicial acumulada de sólidos totales.
- ▼ i)-Constituyente considerado.
- ▼ j)-Frecuencia relativa de las lluvias.

El tipo de pavimento y las condiciones en que se encuentre afectan más al rendimiento que las diferencias en los medios de limpieza. En general, las calles de asfalto liso son más fáciles de mantener limpias que aquellas que presentan una superficie más rugosa.

Los estudios más completos realizados para determinar la efectividad de la limpieza de las calles son, probablemente, los de Pitt (1979, 1985). En la ciudad de San José, en California (EE.UU) se ha evaluado que en las calles con una superficie lisa en las que se procedía a un barrido 1 a 2 veces al día, se podían eliminar hasta el 50% de los sólidos totales y metales pesados de la escorrentía urbana. Estas cifras dan a entender que el barrido de las calles es un medio efectivo para controlar la calidad de la escorrentía urbana cuando se hace frecuentemente y sobre pavimentos lisos. Sin embargo, si la frecuencia de limpieza baja hasta 1 a 2 por mes, el rendimiento de eliminación baja hasta el 5% (Huber W., 1990). En la Figura 2 se muestra la eliminación de sólidos totales frente a la frecuencia de limpieza, para diferentes tipos de superficie (Sharon J. D., 198

Figura 2.
Eliminación de sólidos totales frente a frecuencia de limpieza de calles.



En una investigación realizada en Belleuve, Washington (EE.UU) se ha observado que una vez alcanzado un cierto nivel de limpieza, cualquier labor extra no es rentable. Lo más adecuado sería dedicar los recursos suplementarios a otras zonas que no hayan alcanzado ese umbral crítico de limpieza. En Belleuve se ha calculado que una frecuencia de limpieza de 2 ó 3 veces por semana elimina hasta 68 Kg de sólidos por Km de calle, o hasta el 25% de la carga superficial inicial de la calle, en un año. En las Figuras 3 y 4 se muestra gráficamente este efecto para sólidos totales y DQO (Moffa P. E., 1990).

Si se aumenta la frecuencia de limpieza de las calles hasta valores de 2 a 3 veces por semana, no sólo no se va a producir una mayor eliminación de contaminantes, sino que es probable que debido a la erosión producida por las labores de limpieza, aumenten las cargas superficiales de la calle. Limpiar con una frecuencia muy baja (por ejemplo, una vez cada dos meses) tampoco es ventajoso, excepto en ciudades donde se pueda programar la limpieza de calles de acuerdo con las lluvias (Moffa P. E., 1990).

La acumulación de suciedad en la superficie de las calles se puede representar mediante ecuaciones de tipo lineal, exponencial, potencial o de Michaelis-Menton:

$$DD = at + b$$

$$D = c(1 - e^{-df})$$

$$DD = et^f$$

$$DD = \frac{gt}{h + t}$$

donde:

DD=acumulación de suciedad. Generalmente dada en peso por longitud de cuneta.

t=tiempo.

a,b,c,d,e,f,g,h=coeficientes empíricos.

Ciertos contaminantes individuales como DBO₅, sólidos, bacterias, nutrientes y metales pueden simularse con las ecuaciones anteriores (Tchobanoglous G., 1991; Huber W., 1988).

1.5. CONTROL DE LA BASURA

A menos que se impida que las basuras (como papel, latas, colillas, etc.) se depositen en la calle,

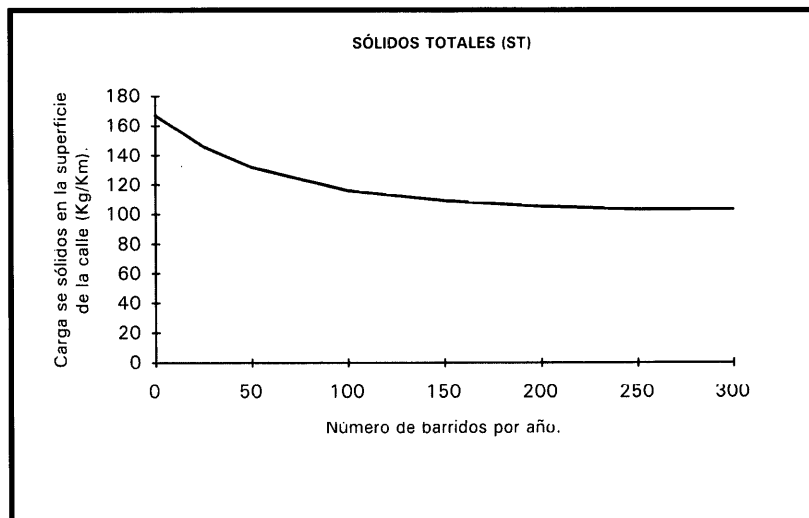


Figura 3. Sólidos Totales eliminados en función de la frecuencia de barrido anual.

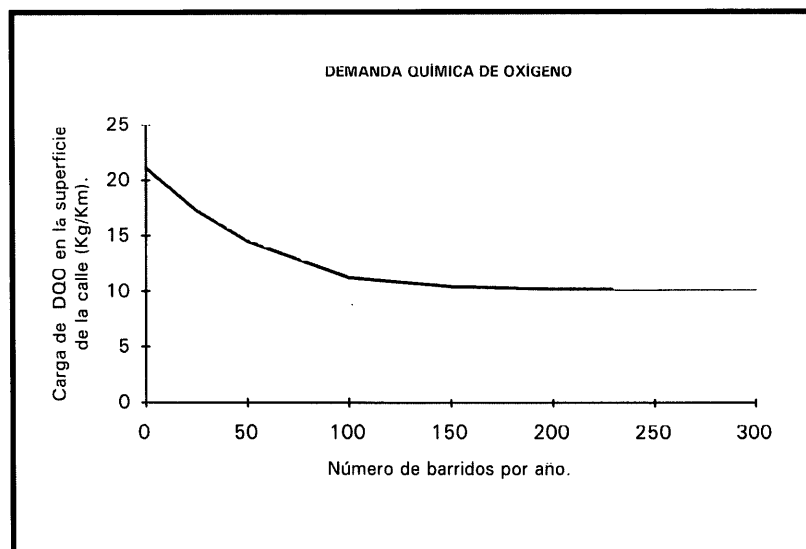
o que se eliminen mediante equipos de limpieza del pavimento, éstas estarán presentes en los reboses que se originan durante las lluvias.

En la ciudad de Nueva York se hizo en 1993 un muestreo muy completo de los reboses de los sistemas de alcantarillado unitario (E. P. A. 1988), en éste se observa que el 95% o más de las materias flotantes en los reboses tenían como origen la basura urbana. Este dato pone de manifiesto la importancia de este factor en la calidad de la esorrentía urbana.

Algunas medidas para el control del problema son las siguientes:

- ▼ a)-Creación de programas de educación pública que fomenten, entre otras posibilidades,

Figura 4. DQO eliminada en función de la frecuencia de barrido anual.



el uso de las papeleras y de los contenedores de basura.

▼ b)-Legislación antibasura adecuada.

▼ c)-Buen servicio de recogida de residuos sólidos urbanos y de limpieza viaria.

El control de la basura, reducirá la cantidad recogida en las instalaciones de pretratamiento de la estación depuradora de aguas residuales o de los sistemas de control y tratamiento de reboses (Sharon J. D., 1989).

2. MEDIDAS EN LA RED DE SANEAMIENTO

Los controles en el sistema de alcantarillado, que se pueden incluir dentro de las medidas no estructurales, son aquellas técnicas y métodos que también pueden ser usados para reducir la contaminación de los vertidos originados por la escorrentía urbana, pero, en la red de saneamiento.

2.1. SUMIDEROS

El agua de lluvia que escurre por las cunetas entra en la red de alcantarillado por los imbornales (bocas u orificios). Los sumideros arrancan desde el imbornal hasta la red de saneamiento, habitualmente cuentan con una cámara para la intercepción de partículas.

Históricamente, el papel de los sumideros ha sido el de minimizar los atascamientos atrapando sólidos gruesos y reduciendo los olores de las alcantarillas (Moffa P. E., 1990). En una investigación en Roxbury Oeste en Boston (EE.UU), se limpiaron tres sumideros y posteriormente se utilizaron con la escorrentía procedente de cuatro aguaceros diferentes. La contaminación media, eliminada por cada precipitación se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4.
Porcentajes retenidos de diferentes contaminantes en un sumidero durante una lluvia (Moffa P. E., 1990).

Contaminante	Porcentaje retenido
SS	60-97
SS volátiles	48-97
DQO	10-56
DBO ₅	54-88

Los sumideros se deben limpiar a menudo para prevenir que los sedimentos y los sólidos acumulados alcancen una altura tal, que la salida hacia la alcantarilla quede bloqueada.

Como el volumen de agua pluvial retenida en cada sumidero reducirá el volumen incorporado a la red en esa cantidad (ésta con el tiempo se infiltrará o evaporará), es importante limpiarlos periódicamente para mantener la capacidad de almacenamiento (Moffa P. E., 1990). Dependiendo de las condiciones locales, se necesita una frecuencia de limpieza de, al menos, dos veces por año para mantener la efectividad de eliminación de contaminantes de los sumideros (E. P. A. 1993).

2.2. LAVADO DE LAS ALCANTARILLAS

Durante los períodos de tiempo seco se produce la elutriación de los sólidos más gruesos del agua residual en la red de alcantarillado. Al producirse una lluvia, el nuevo caudal puede llegar a resuspender todo o parte del material sedimentado, originando en las primeras etapas de la tormenta, elevadas concentraciones contaminantes que pueden verse al medio receptor en los aliviaderos; a este fenómeno se le conoce como primer lavado (en la literatura anglosajona *first flush*). La Figura 5 ilustra el anterior comentario, mostrando la reducción de la altura del sedimento en un colector tras una tormenta intensa. No obstante, en algunas situaciones, las precipitaciones no llegan a resuspender el material acumulado, por el contrario, son el principal aporte de sedimentos (obsérvese en la Figura 5 el efecto de la lluvia del 14-15 de septiembre de 1986 y la Figura 6). La importancia de este fenómeno se pone de manifiesto al observar que las cargas vertidas al medio de esta forma son, según Moffa P. E. (1990), del 30% de la carga total anual producida por el agua residual. Por otra parte, en una investigación realizada en Noruega, la cantidad total de P y DQO acumulada en los conductos de la red de saneamiento unitaria estudiada, oscilaba entre 2 y 5 veces los valores de las cargas anuales originadas en la escorrentía.

Además, estos depósitos originan numerosos problemas de los que entre los más destacables se pueden mencionar:

▼ a)-Reducción de la sección hidráulica de las tuberías.

▼ b)-Aumento de la rugosidad de los conductos.

▼ c)-Modificación de las cotas de ciertos elementos singulares de la red de saneamiento, como, por ejemplo, los aliviaderos.

▼ d)-Emisión de olores desagradables debido a las materias fermentables que contienen.

▼ e)-Incremento potencial de la corrosión del hormigón.

Por todas estas razones, para el correcto funcionamiento de la red de saneamiento es conveniente la inspección periódica y la limpieza de las alcantarillas.

Es posible obtener una aproximación de la cantidad de contaminante acumulado en la red, mediante el uso de expresiones como (Pisano W. C., 1981):

$$TS = 7,09 \cdot 10^{-4} (L)^{1,063} (\bar{S})^{-0,4375} (q)^{-0,5}$$

donde:

TS=Carga de sólidos sedimentados (Kg/día).
L=Longitud total de la red de alcantarillado (m).
S=Pendiente media de la red de alcantarillado.
q=Producción de agua residual (m³/hab.día).

En el caso de que no se disponga de algunos de los parámetros que aparecen en esta ecuación, es posible utilizar las fórmulas siguientes que relacionan S y L con la pendiente del terreno y con el área de la cuenca respectivamente (Pisano W. C., 1981; Moffa P. E., 1990):

$$\bar{S} = 0,34 \cdot (\bar{S}_G)^{0,818}$$

donde:

SG=pendiente media del terreno (m/m).

Para densidad de población baja (25-49 habs./Ha):

$$L = 22,24 \cdot A^{0,928}$$

Para densidad de población media y alta (74-148 habs./Ha):

$$L = 31,52 \cdot A^{0,928}$$

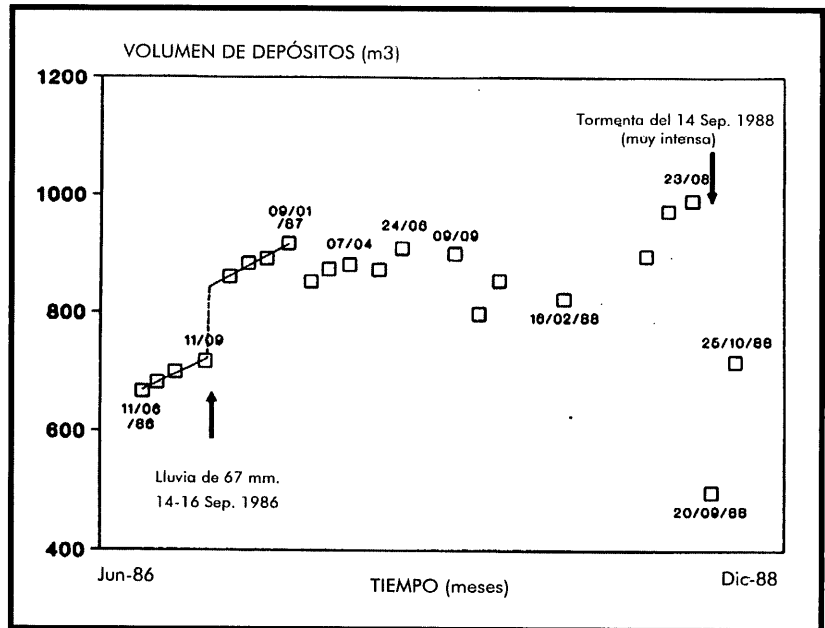


Figura 5. Variación del volumen de sedimentos en un interceptor de Bruselas. (Verbanck M. A., 1992)

con:

L=Longitud de la red de alcantarillado en metros.

A=Área de la cuenca drenante en Ha.

Mediante la Tabla 5 y una vez estimada la cantidad total de sólidos sedimentados se puede estimar la carga contaminante contenida en ellos.

Entre los diferentes sistemas de limpieza de la red de alcantarillado pueden seleccionarse (AE-AS):

- ▼ manual por arrastre y extracción posterior.
- ▼ hidrodinámica.

Figura 6. Variación de la acumulación de sedimentos en el interceptor número 13 (ovoide 1,75 m x 1,80 m; pendiente de 0,001 m/m) de Marsella tras su limpieza. (Verbanck M. A., 1994)

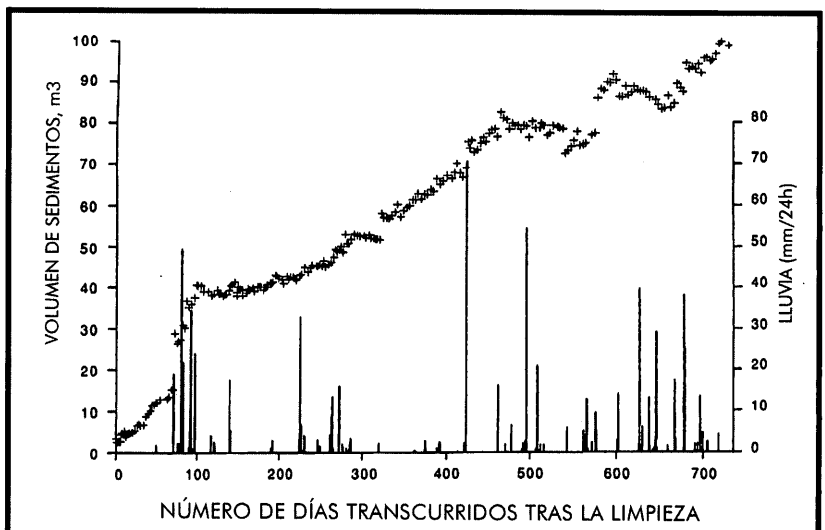


TABLA 5.
Miligramos de contaminante por gramo de suciedad acumulada para cuatro tipos de cuenca en Chicago (APWA, 1969)

Parámetro.	Tipo de uso de cuenca			
	Unifamiliar	Multifamiliar	Comercial	Industrial
DBO ₅	5,0	3,6	7,7	3,0
DQO	40,0	40,0	39,0	40,0
Coliformes Totales	1,3 x 10 ⁶	2,7 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁶	1,0 x 10 ⁶
N Total	0,48	0,61	0,41	0,43
PO ₄ Total	0,05	0,05	0,07	0,03

- ▼ por extracción neumática.
- ▼ pro extracción con vehículos automóviles eléctricos.
- ▼ con cámaras de descarga.
- ▼ mecanizada con extracción en baldes metálicos.
- ▼ por arrastre con compuerta.

La eficiencia de la limpieza mediante descargas periódicas de agua depende de (Moffa P. E., 1990):

- ▼ a)-Volumen y velocidad de la descarga.
- ▼ b)-Pendiente, longitud y diámetro del tramo de conducción a limpiar.
- ▼ c)-Caudal de aguas residuales.
- ▼ d)-Densidad de población.

Las tasas máximas de lavado en un punto aguas abajo están limitadas por la capacidad hidráulica del sistema de regulación en el aliviadero.

Las instalaciones automáticas de lavado se han desarrollado para alcantarillados unitarios. De entre ellas se puede mencionar la compuerta inflable, utilizada para retener el agua hasta un cierto volumen capaz de generar una descarga de lavado. Cuando se alcanza dicho volumen, la compuerta se desinfla con la ayuda de una bomba de vacío, liberando las aguas residuales retenidas y logrando así la limpieza del tramo de alcantarilla. Por otra parte el lavado de alcantarillas por métodos manuales (con depósito de agua) es una forma simple y segura para la eliminación de sólidos que ya no se presentarán en los reboses. En la Tabla 6 se dan valores de eliminación de contaminantes por lavado en función de la longitud lavada.

La relación entre la eficiencia de limpieza y la longitud de la tubería es considerable, ya que se pretende con el flujo de agua, resuspender los sedimentos depositados hacia localizaciones estratégicas, como un punto donde el agua residual es-

TABLA 6.
Eliminación de contaminantes por el lavado de las alcantarillas en función de la longitud del tramo (250-380 mm de tubería), (Moffa P. E., 1990).

	Eliminación componentes orgánicos y nutrientes (%)	Eliminación arena/mat. inorgánica de tiempo seco
Tramo entre pozos de registro.	75-95	75
Tramos en serie hasta 213 m.	65-75	55-65
Longitudes de tramos mayores de 300 m.	35-45	18-25

té fluyendo, o hacia otra zona donde la corriente vaya a originarse o hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.

El lavado también es un método efectivo para resuspender y transportar metales pesados asociados con partículas sólidas coloidales. Aproximadamente de un 20 a un 40% de los metales pesados contenidos en los sedimentos de aguas residuales, entre los que se incluyen cadmio, cromo, cobre, plomo, níquel y zinc, son transportados al menos 300 m por las descargas de agua (Moffa P. E., 1990).

2.3. MEJORA DE LA EXPLOTACION

La mejora de la explotación del sistema puede ayudar a mantener la red de alcantarillado en buenas condiciones y a evacuar el mayor volumen de agua posible; de este modo se minimizarían el número y volumen de los reboses.

Para obtener los beneficios fruto de la mejora de la explotación, se necesita un programa de mantenimiento e inspección de los colectores continuo, particularmente de los reguladores de caudal. Es decir, a menudo se pueden hacer modificaciones en el sistema o reparaciones menores que permiten aumentar significativamente en la red el volumen del agua procedente de la lluvia. El control en tiempo real de las redes de alcantarillado unitario (un nuevo método para corregir deficiencias en la capacidad del sistema) también se usa para controlar la capacidad hidráulica de las tuberías.

En tiempo lluvioso, accede a los aliviaderos un gran volumen de agua; ésta transporta materias que pueden obturar, total o parcialmente, con cierta facilidad el desagüe que dirige las aguas hacia el interceptor. Por tanto, para conseguir el óptimo funcionamiento de este tipo de estructuras, es necesario un mantenimiento periódico.

La inyección de polímero en las alcantarillas puede reducir la fricción en el tubo y, así, aumentar la capacidad hidráulica del mismo; en ciertos casos, esta elevación puede ser notable, por lo que se puede reducir la carga hidráulica y la acumulación de agua durante el tiempo lluvioso. No obstante, el incremento de caudal, atribuible a la inyección de polímeros, generalmente será insignificante si se compara con la magnitud de los caudales de lluvia.

2.4. CONTROL DE INFILTRACIONES Y AFLUENTES AL SISTEMA

Una excesiva infiltración o aportación a la red de aguas residuales, ya sea unitaria o separativa, puede originar problemas de explotación y mantenimiento, tanto en el sistema de colectores como en el de tratamiento, ya que reduce la capacidad hidráulica de las conducciones. Los factores más importantes que afectan el caudal de la infiltración son fundamentalmente la edad y la calidad de construcción de la tubería; además, a medida que crece el porcentaje de superficie pavimentada o edificada en un área, se observa una disminución del agua que se infiltra en el alcantarillado. La intensidad y cantidad de la infiltración depende también de la longitud de las alcantarillas, del área servida, de las condiciones topográficas, del suelo y, hasta cierto punto, de la población, ya que de ésta depende el número y longitud de las conexiones de las casas.

La infiltración de agua subterránea puede oscilar entre 0,0094 y 0,94 m³/día.mm.Km, e incluso más. El número de milímetros-kilómetros en una red de alcantarillado es la suma de los productos de los diámetros de las alcantarillas y las longitudes correspondientes a esos diámetros. Dicho de otro modo, la infiltración puede variar desde 0,2 a 28 m³/Ha.día. Durante las lluvias intensas la cantidad puede pasar de 470 m³/Ha.día (Tchobanoglous G., 1991). En los grandes colectores, la infiltración puede variar entre 35 y 120 m³/Km de alcantarilla por día, pero se han observado infiltraciones mayores en lugares en que aquellas están por debajo del nivel freático del agua y son de pobre construcción (Steel E. W., 1981).

La infiltración es difícil de controlar, y los procedimientos para lograrlo son de coste elevado. Un control adecuado de la infiltración originará la reducción del número y del volumen de los reboses.

2.5. SEPARACION DE ALCANTARILLAS

La separación de alcantarillas consiste en la conversión de un sistema de alcantarillado unitario en un sistema de colectores de aguas pluviales y otro de aguas residuales. Históricamente considerada la mejor respuesta para la contaminación de los reboses, la separación de alcantarillas se ha reconsiderado en los últimos años, debido a que no se corrige, de esta forma, la contaminación de la escorrentía de las aguas de lluvia. Teóricamen-

te, la separación es la única medida que puede eliminar completamente los reboses. Por otra parte esta medida es relativamente costosa y durante la construcción puede causar transtornos en el tráfico y en las actividades diarias de la comunidad. No obstante, el alcantarillado separativo presenta algunas ventajas, entre ellas cabe destacar:

- ▼ evita que los caudales sanitarios de tiempo seco sean vertidos en las aguas receptoras en tiempo lluvioso.
- ▼ reduce el caudal que debe tratarse en las plantas de tratamiento de aguas residuales, con lo cual también se reducen los costos de explotación y mantenimiento.
- ▼ reduce la infiltración si las alcantarillas sanitarias nuevas se construyen para reemplazar a las alcantarillas unitarias viejas.

La separación de alcantarillas, en general, no es una alternativa aceptable debido al costo. Además, es difícil conseguir una separación total y las conducciones pluviales pueden necesitar almacenamiento para atenuar los caudales punta de tiempo lluvioso. Por otra parte, la construcción es muy laboriosa y costosa en áreas urbanas (Hubbell J. W., 1990). En los alcantarillados unitarios, una parte de los contaminantes que contiene el primer lavado (first flush) puede ser incorporado al interceptor y tratado en la EDAR. Sin embargo, cuando las alcantarillas se separan, estos contaminantes no se recogen y toda la escorrentía se vierte en el medio receptor.

No obstante, en algunas situaciones, la separación de alcantarillas puede llegar a ser la alternativa mejor y más económica. Algunas condiciones que favorecen la separación son (Johnson C. R., 1990):

- ▼ Estaciones de tratamiento cerca de su capacidad máxima de trabajo.
- ▼ Excesiva infiltración.
- ▼ Terreno insuficiente para situar sistemas de control y tratamiento de reboses.
- ▼ Inundaciones locales de algunas calles producidas por la reducida capacidad hidráulica de una red infradimensionada.
- ▼ Redes de alcantarillado antiguas.

La separación de alcantarillas es viable en aquellos lugares en los que el área tributaria a un aliviadero sea pequeña, aproximadamente menor de 8 Ha (Johnson C. R., 1990).

CONCLUSIONES

El mayor potencial de las medidas no estructurales se centra en el desarrollo de pequeñas estructuras para el control de la contaminación y el volumen de las aguas de lluvia, la planificación del uso de la tierra, la limpieza de calles, el control de la erosión, la utilización de estanques para infiltración, etc., haciendo énfasis en el almacenamiento en origen.

Para el diseño de medidas no estructurales se deberían tener presentes las siguientes ideas básicas (ASCE, 1992):

- ▼ las medidas más efectivas para el control de la contaminación de la escorrentía urbana, son las que reducen el caudal máximo y el volumen de la escorrentía (generalmente son medidas que hacen intervenir a la infiltración en el balance hidrológico).
- ▼ las siguientes medidas más efectivas son las que, exclusivamente, reducen el caudal máximo de la escorrentía (son medidas que hacen intervenir el almacenamiento).
- ▼ la escorrentía originada por las lluvias pequeñas (cuyo período de retorno es menor de 2 años) debería retenerse en sistemas de almacenamiento para evitar la erosión de las zonas situadas aguas abajo. Sin embargo, debe observarse que el tiempo en el que el agua estará en circulación será mayor, lo que puede ocasionar problemas de erosión en las conducciones.
- ▼ los contaminantes más nocivos presentes en la escorrentía son sedimentables; no obstante, hay cantidades apreciables de nutrientes y de algunos metales pesados que están disueltos y necesitan tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- AEAS**. Recomendaciones para redes de alcantarillado, Asociación española de abastecimientos de agua y saneamiento, s. l., s. f.
- APWA** (1969). Water Pollution Aspects of Urban Runoff. American Public Works Association. Federal Water Pollution Control Administration, Contract WP-20-15, Washington, DC. (citado en Huber W. C., Dickinson R. E., 1988, Storm Water Management Model, Version 4, Environmental Protection Agency, EE.UU. EPA-600/3-88/001a)
- ASCE** (1992). Design and Construction of Urban Storm-water Management Systems, ASCE Manuals and Reports

of Engineering Practice n° 77. WEF Manual of Practice FD-20, 723 págs., ISBN 0-87262-855-8, ISBN 1-881369-21-8.

–**EPA** (1988). Combined Sewer Overflow Control. Environmental Protection Agency, EE.UU. EPA/625/R-93/007, Septiembre 1993.

–**EPA** (1993). Handbook of Urban Runoff Pollution Prevention and Control Planning. Environmental Protection Agency, EE.UU. EPA-/625/R-93/004a.

–**Hubell J. W.**, (1990) “CSO experience in Michigan. A consultant’s perspective” en Control of Combined Sewer Overflows. WPCF Specialty Conference Series.

–**Huber W. C., Dickinson R. E.**, (1988) Storm Water Management Model, Version 4, Environmental Protection Agency, EE.UU. EPA-600/3-88/001a.

–**Johnson C. R.**, (1990) “A new look at sewer separation for CSO control” en Control of Combined Sewer Overflows. WPCF Specialty Conference Series.

–**Lazaro T. R.**, (1990) Urban Hydrology. A Multidisciplinary Perspective, Technomic, Lancaster, EE.UU, ISBN 87762-547-6.

–**Moffa P. E.**, (1990) Controls and Treatment of Combined-Sewer Overflows, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, ISBN 0-442-26491-7.

–**Novotny V.**, (1992) “Control of Water Quality in Urban Runoff-Efficiencies and Cost.” en Stormwater Monitoring, Measurement, and Management. Pre-Conference Seminar Proceedings. Municipal Stormwater Permitting. Nueva Orleans. Septiembre.

–**OCDE** (1982). Program on control of diffuse sources of water pollution. Control pollution from urban runoff., Water Management Policy Group, OCDE, París, 117 págs. (citado en Mémento sur l’évacuation des eaux pluviales, Service Technique de l’urbanisme, La Documentation Française, París, 349 págs., 1989, ISBN 2-11-002179-9.)

–**Pisano W. C., Queiroz C., Aronson G. L., et al.** (1981) “Procedures for estimating dry weather pollutant deposition in sewer systems”, Journal WPCF, Volumen 53, Número 11, págs. 1627-1636.

–**Pitt R.**, (1979) Demonstration of Non-Point Pollution Abatement Through Improved Street Cleaning Practices, Environmental Protection Agency, EE.UU. EPA-600/2-79-161 (citado en Huber W. C., Dickinson R. E., Storm Water Management Model, Version 4, Environmental Protection Agency, EE.UU., 1988, EPA-600/3-88/001a).

–**Pitt R.**, (1985) Characterizing and Controlling Urban Runoff Through Street and Sewerage Cleaning, Environmental Protection Agency, EE.UU. EPA-600/2-85/038 (citado en Huber W. C., Dickinson R. E., Storm Water Management Model, Version 4, Environmental Protection Agency, EE.UU., 1988, EPA-600/3-88/001a).

–**Pratt C.J., Mantle J. D. G., Schofield P. A.**, (1988) “Urban Stormwater reduction and quality improvement th-

rough the use of permeable pavements”, en Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts, International Association on Water Pollution Research and Control, págs. 123-132.

–**Ranchet J., Ruperd Y.** (1983) “Moyens d’action pour limiter la pollution due aux eaux de ruissellement en système séparatif et unitaire. Synthèse bibliographique. Partie I”, Trib. Cebedeau, N° 470, págs. 19-35.

–**Roesner L. A., Saygers T. A. y Rowe G.**, (1990) “A 100-years Master Plan for Cincinnati’s combined systems” en Control of Combined Sewer Overflows. WPCF Specialty Conference Series.

–**Sharon J. D.**, (1989) Combined Sewer Overflow Pollution Abatement. Manual of Practice N° FD-17, Virginia, EE.UU, ISBN 0-943244-32-3.

–**Steel E. W., Mvghee T. J.**, (1981) Abastecimiento de agua y alcantarillado, Gustavo Gili, Barcelona, págs. 35-36, ISBN 84-252-0094-6.

–**Tchobanoglous G., Burton F. L.**, (1991) Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse, Metcalf & Eddy, Inc., tercera edición, McGraw-Hill, 1334 págs., ISBN 0-07-100824-1

–**Tejero J.I., Temprano J.**, (1993) Contaminación de la escorrentía superficial, Equipo de Calidad de Aguas, Informe emitido para el Grupo de Emisarios Submarinos, Fundación Leonardo Torres Quevedo, Universidad de Cantabria, Santander.

–**Thronson, R. E.**, (1973) Comparative Costs of Erosion and Sediment Control, Construction Activities, Environmental Protection Agency, Washington, EE.UU, 205 págs, (citado en Lazaro T. R., Urban Hydrology. A Multidisciplinary Perspective, Technomic, Lancaster, EE.UU, 1990, ISBN 87762-547-6).

–**Valiron F., Tabuchi J.-P.**, (1992) Maitrise de la pollution urbaine par temps de pluie, étatde l’art. Lavoisier, París, 564 págs., ISBN 2-85206-863-X.

–**Verbanck M. A.**, (1992) “Field Investigations on Sediment Occurrence and Behaviour in Brussels Combined Sewers” en Verbanck M. A. “Origin, Occurrence and Behaviour of Sediments in Sewer Systems”, Water Science and Technology, International Association on Water Pollution Research and Control, Volumen 25, N°8, págs 71-82.

–**Verbanck M. A., Ashley R. M., Bachoc A.**, (1994) “International Workshop on Origin, Occurrence and Behaviour of Sediments in Sewer Systems: Summary of Conclusions”, Wat. Res. Volumen 28, N°1, págs. 187-194.

–**Wanielista M. P.**, (1978) Stormwater Management, Quantity and Quality, Ann Arbor Science, Michigan, EE.UU, ISBN 0-250-40261-0.

–**Whipple W., Grigg N., Grizzard T., et al.** (1993) Stormwater Management in Urbanizing Areas. Prentice-Hall, Inc. Nueva Jersey, EE.UU, ISBN 0-13-850214-5. ●