

GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN ÁMBITO URBANO.

LAS TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

JOSE ANTA ÁLVAREZ
JERÓNIMO PUERTAS AGUDO
JOAQUÍN SUÁREZ LÓPEZ
HÉCTOR DEL RÍO CAMBESES
DAVID HERNAEZ OUBIÑA

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de drenaje urbano sostenible (TDUS) son procedimientos destinados a que el sistema global de saneamiento mejore su eficacia en la recogida, transporte y depuración de las aguas de escorrentía. Estas técnicas, a veces llamadas técnicas de gestión de la escorrentía urbana (TGEU) o sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS) se conocen en la literatura anglosajona como *best management practices* (BMP), *low impact development techniques* (LIDS) o *sustainable urban drainage systems* (SUDS), entre otras denominaciones.

Los beneficios obtenidos al emplear TDUS pueden ser de dos tipos: el control de la cantidad de agua y el control de la contaminación (Debo y Reese, 1995). Al controlar la cantidad de agua se reducen las puntas de caudal causadas por la impermeabilización del terreno producida por la urbanización. Esta reducción de puntas de caudal permite reducir, a su vez, posibles problemas de capacidad hidráulica de los sistemas de saneamiento.

En la figura 1 se presenta el funcionamiento de una cuenca de drenaje urbana en la fase previa a la urbanización (1), tras una urbanización sin TDUS (2) y con una urbanización en la que se han aplicado TDUS para el control

de puntas y protección frente inundaciones (3). Aunque el caudal máximo sea igual al caudal máximo en las condiciones anteriores al desarrollo urbano, se presenta en la zona sombreada el incremento de volumen y duración del aguacero debido a la urbanización de la cuenca.

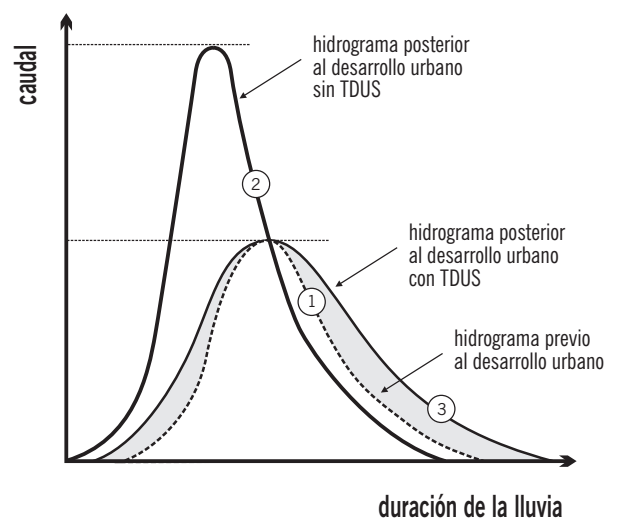


Figura 1. Respuesta hidrológica de una cuenca urbana que dispone de TDUS tradicionales

Por otra parte, el control de la contaminación con las TDUS permite la reducción de la contaminación vertida mediante los procesos de depuración física, química y biológica que se produce en estos dispositivos. De este modo, también se mejoran las características del caudal que llega a las EDAR y se

puede mejorar la calidad del agua pluvial para su valorización en las cuencas urbanas. En definitiva, la incorporación de TDUS en la concepción de los nuevos sistemas de saneamiento y drenaje reduce el impacto producido por la urbanización en el entorno: se incrementan las tasas de infiltración y la recarga de los recursos subterráneos, se disminuye el impacto morfológico de los vertidos y la erosión de los cauces naturales y se reduce la carga de contaminación movilizada hacia las masas acuáticas receptoras.

Las TDUS se pueden clasificar desde numerosos puntos de vista. En la literatura se encuentran clasificaciones diferentes según los autores, y con terminología aún no del todo consensuada. No es objeto de este texto realizar una descripción pormenorizada de las diferentes clasificaciones y tipologías de TDUS existentes.

Una clasificación muy extendida cataloga las TDUS en función de su emplazamiento en el sistema de saneamiento y drenaje urbano (Temprano *et al.*, 1996). Así, se pueden diferenciar entre **sistemas para el control de la escorrentía en origen**, formados por aquellas medidas que se aplican a elementos del sistema de drenaje previamente a su incorporación a la red de saneamiento, y los **sistemas para el control aguas abajo**. Las técnicas de con-

trol aguas abajo son aquellas medidas que se aplican en la red de alcantarillado o en los puntos previos al vertido de las aguas pluviales al medio receptor o a su incorporación a una red unitaria. A su vez, es habitual clasificar las técnicas para el control aguas abajo en **técnicas para el control local** y **técnicas para el control regional**. Las técnicas para el control local se aplican para pequeñas superficies y cuencas urbanas, habitualmente de tamaño inferior a las 5 ha. Las técnicas para el control regional pueden adoptar las mismas tipologías que las de control local, pero se aplican para la gestión de la escorrentía de grandes superficies y en puntos previos al vertido hacia los medios receptores.

En general, es mucho más económico prevenir la generación de la escorrentía que tratarla posteriormente. Por este motivo la implantación de las TDUS de control de la escorrentía en origen es cada vez mayor. Sin embargo, es habitual complementar este tipo de técnicas con infraestructuras de tratamiento de las aguas pluviales para el control local y el control regional. Estas técnicas son, en general, más caras, especialmente en entornos urbanos donde el precio del suelo es muy elevado (US-EPA, 2002).

Por lo tanto, a la hora de planificar un sistema de drenaje urbano sostenible se debe abor-

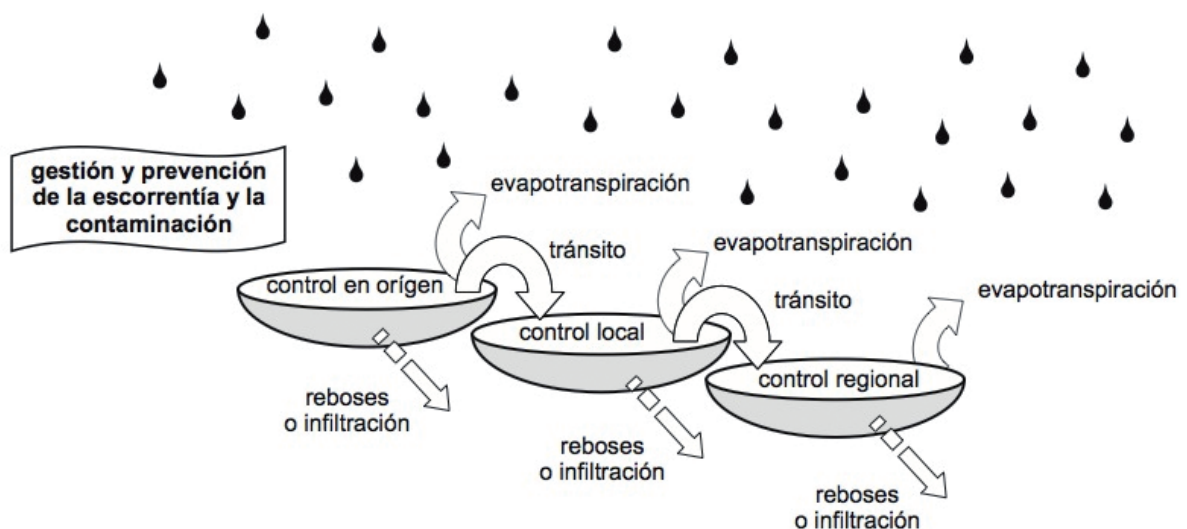


Figura 2. Estrategia de tratamiento en cadena para la gestión de las aguas pluviales (adaptado de CIRIA, 1999)

dar el problema empleando una estrategia de tratamiento en cadena, también denominada *tren de tratamiento*, como la esquematizada en la figura 2. Así, para llegar a la solución definitiva se lleva a cabo un proceso iterativo en el que se van añadiendo tipologías o eslabones a la cadena de tratamiento. Inicialmente el problema se debe abordar aplicando una serie de medidas preventivas encaminadas a la reducción de la escorrentía urbana, reciclaje y valorización de las aguas de lluvia, programas educativos, control de conexiones ilegales o programas de limpieza de la suciedad depositada en las superficies impermeables. De este modo, se contribuye a mantener los parámetros naturales de la cuenca, como la tasa de infiltración, la recarga de acuíferos o el volumen y frecuencia de vertidos en el medio natural.

Si estas medidas no son suficientes se pueden considerar estrategias de control en origen, como pavimentos permeables, zanjas de infiltración o pozos de infiltración. A continuación se evaluarán distintas actuaciones para el control local y regional. Una de las principales ventajas de esta filosofía radica en la reducción de las necesidades de ocupación de los sistemas de control regionales, ya que mediante el empleo de las pequeñas unidades de control se reduce efectivamente la escorrentía cerca del origen de la contaminación.

Seguidamente se presentarán las tipologías de TDUS más representativas para el control de entradas en origen y el control local y regional. Por último, se enunciarán algunos criterios que deben contemplarse para el diseño de estas técnicas. No es objeto de este texto presentar una descripción pormenorizada de estos criterios ni de las metodologías de diseño de las TDUS. Una revisión detallada de estos aspectos se encuentra en la monografía *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*, publicada recientemente por el CEDEX (Puertas *et al.*, 2008).

2. LAS TÉCNICAS DE GESTIÓN DE LA ESCORRENTÍA URBANA

2.1. TDUS en origen

Las técnicas de control de entradas en origen se diseñan para gestionar las aguas de escorrentía en el punto donde cae la lluvia. El control de entradas consiste en proporcionar un volumen de retención en superficies o lugares especialmente preparados, como azoteas, aparcamientos, patios industriales o residenciales, o en general, en cualquier superficie diseñada adecuadamente. El volumen de agua retenida se puede derivar posteriormente a un sistema de control local, y se puede almacenar y tratar para su utilización o valoración, tanto en usos urbanos como para su infiltración.

Estas medidas permiten minimizar los efectos de la impermeabilización de las cuencas, tanto en caudales y volúmenes de agua como en contaminación. Son, por tanto, técnicas preventivas. Otro tipo de técnicas de control en origen basadas en la prevención son las técnicas para el control de fuentes o técnicas no estructurales. Dentro de este grupo se pueden mencionar las siguientes estrategias:

- Limpieza de las calles. La suciedad de las calles es una de las fuentes principales de ciertos contaminantes que van a parar al medio receptor a través de las descargas de los sistemas unitarios (DSU).
- Programas de educación pública. El objetivo prioritario de educación para el control de la contaminación por descargas de sistemas unitarios o separativos es la concienciación de los ciudadanos en relación con la protección ambiental de los hábitats acuáticos que reciben los vertidos.
- Programas de gestión de residuos. Aceites, pinturas, productos de limpieza y cierto tipo de residuos domésticos son algunos de los residuos que pueden entrar en la red de alcan-

tarillado y ser arrastrados al medio acuático en tiempo de lluvia.

- Control de fertilizantes y pesticidas.
- Control de la erosión del suelo. Controlar la erosión de los suelos es importante, ya que las partículas del suelo llevan asociados nutrientes y metales; además, esto contribuye a los procesos de sedimentación en la red. Las principales fuentes que deben controlarse en entornos urbanos son los parques y las zonas en construcción.
- Control de la escorrentía de zonas comerciales e industriales. Zonas como gasolineras, las inmediaciones de estaciones de ferrocarril y zonas de aparcamiento de vehículos son fuentes que contribuyen muy significativamente a la contaminación de las aguas entrantes en el sistema de saneamiento.

2.2. TDUS para el control local

Las técnicas para el control y tratamiento local son instalaciones de almacenamiento de la escorrentía que pueden infiltrar parte de las precipitaciones para reducir el volumen de agua movilizado hacia la red de drenaje. El objetivo fundamental de este tipo de instalaciones es evitar que la escorrentía de las lluvias más habituales entre en el sistema de saneamiento, ya sea este unitario o separativo.

Como se ha comentado, cuando las características del suelo son adecuadas, y la carga de contaminación de las aguas de escorrentía compatible con las aguas freáticas, la escorrentía capturada se puede conducir a instalaciones específicas donde se favorece la infiltración.

El tratamiento local puede tomar alguna de las siguientes formas (ITOHG SAN 1.4, 2009):

- Dispositivos de infiltración, como zanjas o pozos de infiltración.
- Pavimentos porosos y modulares.

Zanjas de infiltración

Estos sistemas de tratamiento de la escorrentía están constituidos por una zanja excavada en el terreno, rellena de material granular que permite el almacenamiento y la infiltración de la escorrentía urbana en el suelo que rodea a la zanja. Una de las principales ventajas de las zanjas de infiltración es que, además de tratar la contaminación asociada a la escorrentía urbana, ayudan a preservar el balance hídrico, proporcionan un volumen de recarga a los acuíferos y contribuyen a preservar los caudales base de pequeños arroyos y cauces.

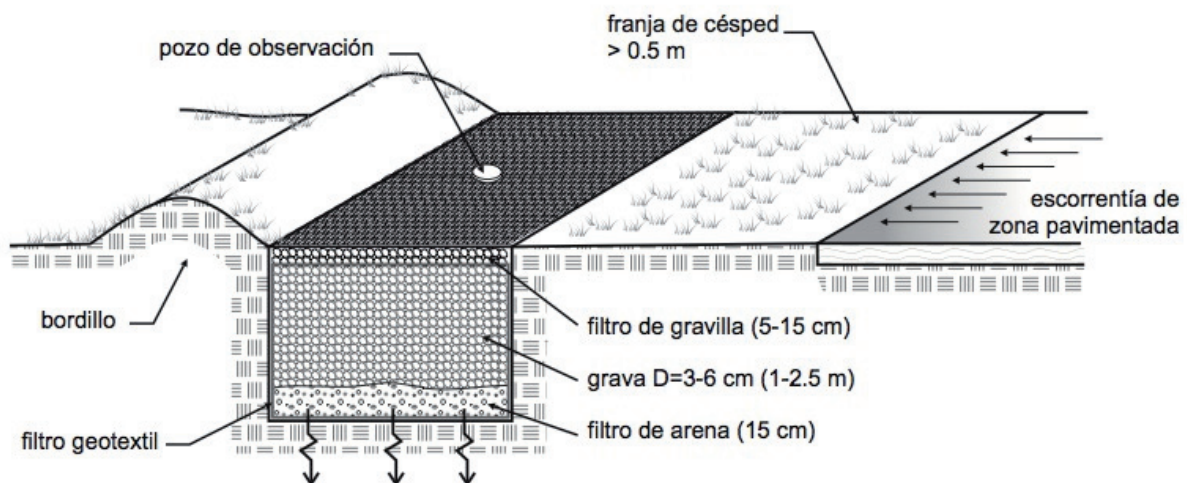


Figura 3. Zanja de infiltración con pretratamiento (adaptado de MDE, 2000)

Las zanjas de infiltración no se diseñan para eliminar los sedimentos más gruesos; por eso es habitual que cuenten con un pequeño pretratamiento, como una franja vegetal filtrante o cualquier otro sistema que elimine las partículas decantables y, de este modo, se reduzca el riesgo de colmatación de la zanja.

En algunos casos las zanjas filtrantes se construyen con una tubería perforada en la base de la zanja que drena la escorrentía hacia los cauces receptores. Esta solución se aplica principalmente en los márgenes y medianas de carreteras, así como en los perímetros de los aparcamientos, cuando la capacidad de infiltración del suelo no es suficiente. En este caso, las zanjas filtrantes se conocen como *filtros drenantes* (CIRIA, 1999).

Debido a su propia naturaleza, las zanjas de infiltración no pueden emplearse en suelos poco permeables. Además, el nivel freático y las estructuras de roca deben situarse por debajo de la base del sistema para permitir las filtraciones al terreno. También debe prestarse atención a la posible contaminación del suelo. Son tecnologías poco adecuadas para zonas con cargas de contaminación que contengan pesticidas, hidrocarburos o metales pesados.

Pozos de infiltración

Los pozos de infiltración (*dry wells* o *soakaways* en la literatura anglosajona) son sistemas subterráneos de almacenamiento temporal de la escorrentía de los tejados de las edificaciones. El volumen de escorrentía almacenado por estos sistemas se infiltra en el suelo que rodea la zanja. Aunque los tejados no son una fuente importante de contaminación, sí que lo son de volumen de escorrentía. Estos sistemas se aplican para reducir el volumen de escorrentía enviado hacia los sistemas de tratamiento situados aguas abajo de la cuenca y, de este modo, reducir su tamaño.

Como ocurría con los otros sistemas de infiltración, una de las principales ventajas de esta técnica es que, además de tratar la contaminación, ayuda a preservar el balance hídrico proporcionando un volumen de recarga a los acuíferos. Por su propio modo de operación no podrán emplearse en suelos poco permeables. Además, el nivel freático y las estructuras de roca deben situarse por debajo de la base del sistema para permitir las filtraciones al terreno. También debe prestarse atención a la posible contaminación del suelo.

Los pozos de infiltración son sistemas especialmente adecuados para viviendas unifamiliares y pueden confeccionarse *in situ*, como el sistema presentado en la figura 4, o comprarse prefabricados.

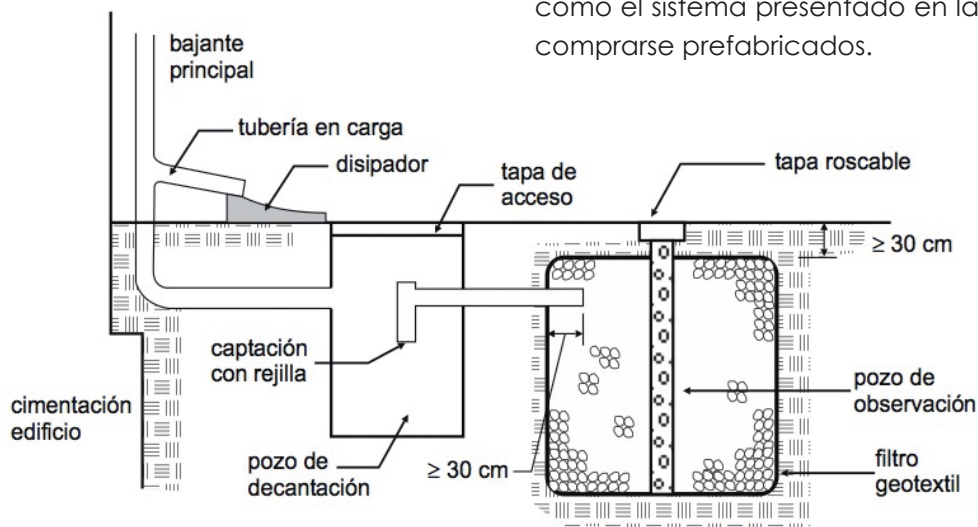


Figura 4. Esquema de un pozo de infiltración con pozo de decantación previa (adaptado de NYSDEC, 2001)

Pavimentos porosos

Los pavimentos porosos o permeables consisten en una capa de conglomerado asfáltico u hormigón que permite la infiltración de la escorrentía hacia una capa de grava subyacente.

La capa de grava sirve para almacenar temporalmente la escorrentía y para infiltrarla al terreno natural o hacia los laterales del firme a través de un sistema de drenes.

La permeabilidad de estos firmes se consigue eliminando de las mezclas algunas fracciones de los finos usados en los aglomerados asfálticos convencionales. De este modo, estos pavimentos alcanzan porosidades del 20% frente a los valores del firme tradicional, que rondan el 2% o el 3%.

En cualquier caso, todas las capas del firme deben tener permeabilidades crecientes, desde la superficie hasta la subbase, incluyendo la capa de geotextiles, con objeto de que el agua fluya a través del pavimento y no se quede retenida en su interior. La misión de los geotextiles es primordial en este tipo de pavimentos, ya que actúan como filtro, separación o como refuerzo estructural (Castro *et al.*, 2005).

Una de las principales ventajas de los pavimentos porosos es que proporcionan un volumen de recarga a los acuíferos a través de la infiltración de las aguas de escorrentía. Esto permite, también, una reducción del coste de otros sistemas de tratamiento de la escorrentía necesarios en la cuenca. Su principal inconveniente es, por una parte, el coste de instalación, que se compensa con el ahorro en otras TDUS, y su escaso grado de fiabilidad, especialmente si se diseñan, construyen o mantienen incorrectamente.

Pavimentos modulares

Los pavimentos modulares son sistemas compuestos por una capa superficial formada por módulos de hormigón, ladrillo o plástico reforzado que poseen una serie de huecos que los atraviesan de arriba abajo, que se rellenan de arena o tierra sobre la que se planta césped. El funcionamiento del pavimento es similar al de los pavimentos porosos, ya que por debajo de la superficie se dispone de una capa granular que sirve para almacenar e infiltrar el agua de escorrentía hacia el suelo o hacia los laterales del firme.

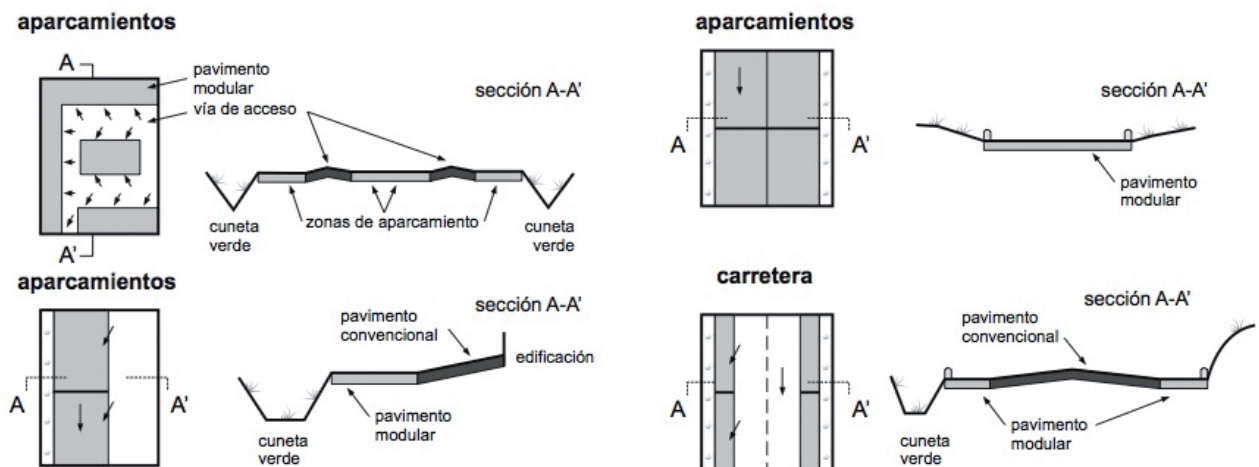


Figura 5. Ejemplos de aplicación de pavimentos porosos y modulares (adaptado de ARC, 2001)

Tienen las mismas aplicaciones y limitaciones que los pavimentos porosos. Suelen emplearse en aplicaciones con baja intensidad de tráfico, como grandes zonas de aparcamiento; calles residenciales; zonas de aparcamiento en calles de media densidad de tráfico, siempre sin presencia de vehículos pesados; zonas de recreo, aceras, etc. En la figura 5 se presentan las configuraciones más habituales de este tipo de firmes.

2.3. TDUS para el control regional

Las técnicas para el control regional son instalaciones de retención o detención a escala de subcuenca y pueden emplearse en tramos altos, medios y bajos de las redes de aguas pluviales en los sistemas separativos donde el área tributaria es apreciable. Esta es la principal diferencia entre esta estrategia y las estrategias de control local, ya que algunos de los sistemas presentados a continuación también se podrían aplicar para el control local.

Las técnicas para el control regional pueden adoptar las siguientes formas (ITOHG SAN 1.4, 2009):

- Estanques de detención (secos).
- Estanques de retención (húmedos).
- Depósitos de hormigón subterráneos.
- Humedales artificiales.
- Bandas y zanjas de césped.
- Sistemas de filtración en lecho de arena.

En áreas urbanas muy consolidadas es más difícil disponer de espacio suficiente para construir sistemas de tratamiento extensivos, como los estanques o humedales. En estos casos se suele recurrir a sistemas compactos de almacenamiento y tratamiento, como filtración en lechos de arena. A continuación se realiza una descripción de estas tecnologías.

Estanques de detención

Los estanques de detención o depósitos secos se diseñan con una estrategia de reducción de los caudales punta: se lamina el hidrograma de entrada a la estructura y se almacena la escorrentía durante un corto periodo de tiempo. Los estanques de detención, o estanques secos, poseen un rendimiento de eliminación de los contaminantes menor que los estanques húmedos debido a que las primeras aguas resuspenden los sedimentos acumulados en el fondo del estanque. Por lo tanto, su diseño solo atiende a criterios hidráulicos.

Estanques de retención (húmedos)

Las instalaciones de retención proporcionan un almacenamiento en una instalación sin salida, o con un desagüe controlado, donde todo o una parte del caudal que entra se almacena durante un periodo prolongado. Estrictamente estas técnicas se limitarían a evaporar o infiltrar el agua almacenada, aunque es habitual emplear el término *retención* en estanques que almacenan cierto volumen de escorrentía hasta que es desplazado por aguaceros posteriores. Por lo tanto, en estos sistemas existe cierto volumen de agua que se almacena de forma permanente.

En estos sistemas, la eliminación de los contaminantes se produce por sedimentación y por procesos de degradación bioquímica realizados por las plantas y microorganismos presentes en el estanque. Además, la presencia del volumen permanente impide notablemente la resuspensión de los sedimentos depositados en el depósito.

Durante los aguaceros la escorrentía desplaza el agua que se encontraba en el estanque. De este modo, el estanque captura y

realiza el tratamiento de los pequeños y habituales aguaceros, que generalmente movilizan grandes cantidades de contaminación. Es habitual que los estanques de retención se dimensionen con un sobrenivel para contro-

lar o incrementar el tiempo de tratamiento de aguaceros más intensos. Existe un tercer nivel en el que el vertido se realiza por el aliviadero de emergencia, para las lluvias extremas (véase la figura 6).

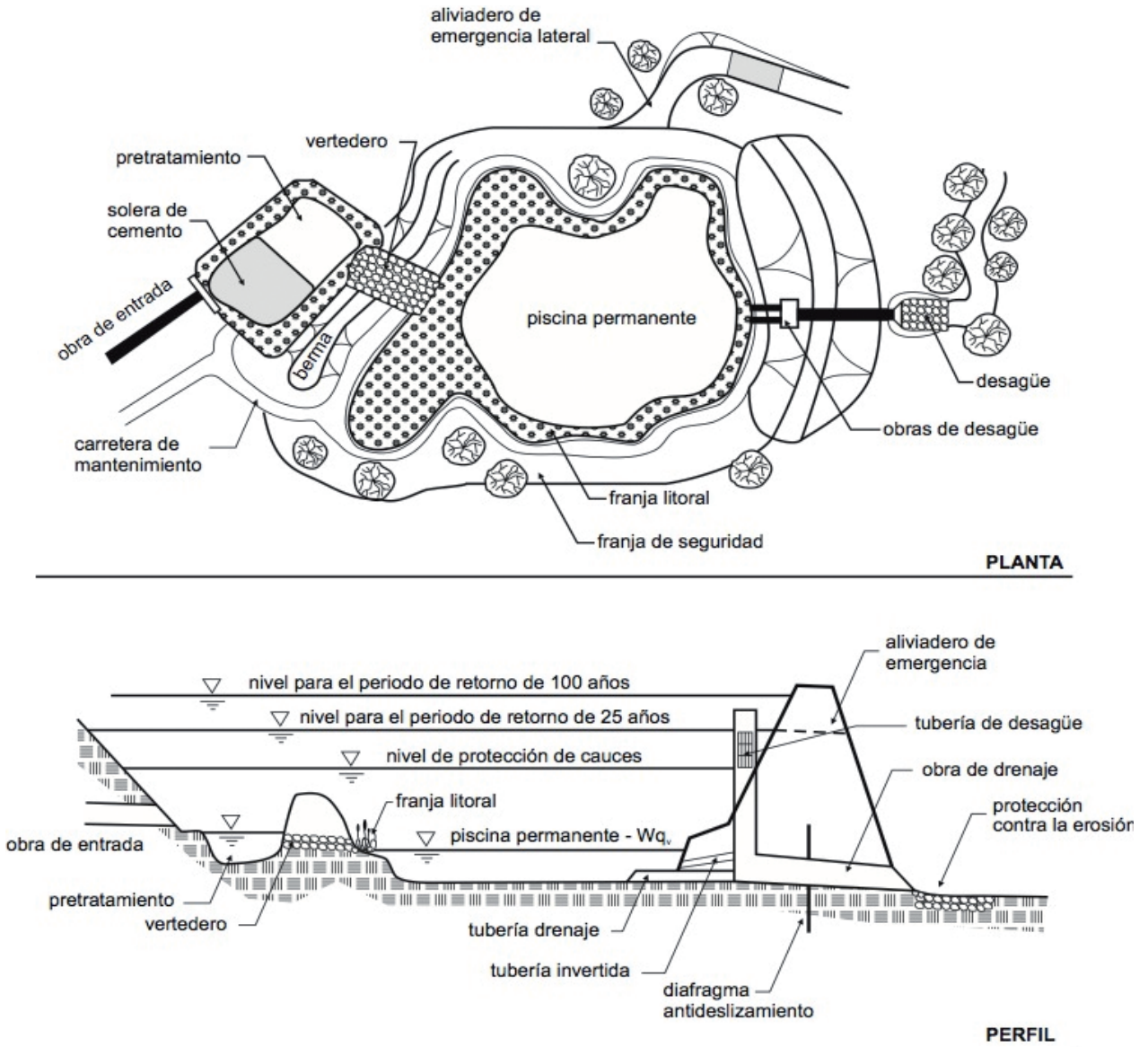


Figura 6. Esquema de un estanque de retención húmedo (adaptado de ARC, 2001)

Depósitos subterráneos

Los sistemas subterráneos de detención son tanques o arquetas subterráneos diseñados fundamentalmente para proporcionar control frente a los caudales punta. Las estructuras subterráneas de detención son la opción

de tratamiento más empleada en cuencas urbanas muy desarrolladas, ya que los requerimientos de espacio se minimizan. Son, sin lugar a dudas, la tipología de detención más empleada en España y se aplican habitualmente tanto en redes unitarias como separativas.

Humedales artificiales

Los sistemas de humedales artificiales son estanques de aguas someras diseñados para controlar los caudales y la contaminación de las aguas de escorrentía urbana. Son zonas que se inundan con las aguas de escorrentía y con los flujos subsuperficiales y subterráneos. En estas infraestructuras los procesos físicos, químicos y biológicos eliminan algunos contaminantes, filtran otros y promueven cierta oxigenación. La característica fundamental de los humedales es que presentan plantas hidrófilas que ayudan a la depuración de los contaminantes presentes en las aguas pluviales.

Existen distintos tipos de humedales artificiales que se pueden clasificar en función de la proporción entre las aguas someras y las profundas, o la cantidad de volumen que pueden almacenar sobre el volumen permanente (MDE, 2000). En la figura 7 se presenta un esquema de un humedal somero convencional.

Estos sistemas se integran bien paisajísticamente y, además, poseen un hábitat variado, aunque con menor biodiversidad que el existente en los humedales naturales. Como en el caso de los humedales naturales, requieren un caudal de tiempo seco continuo

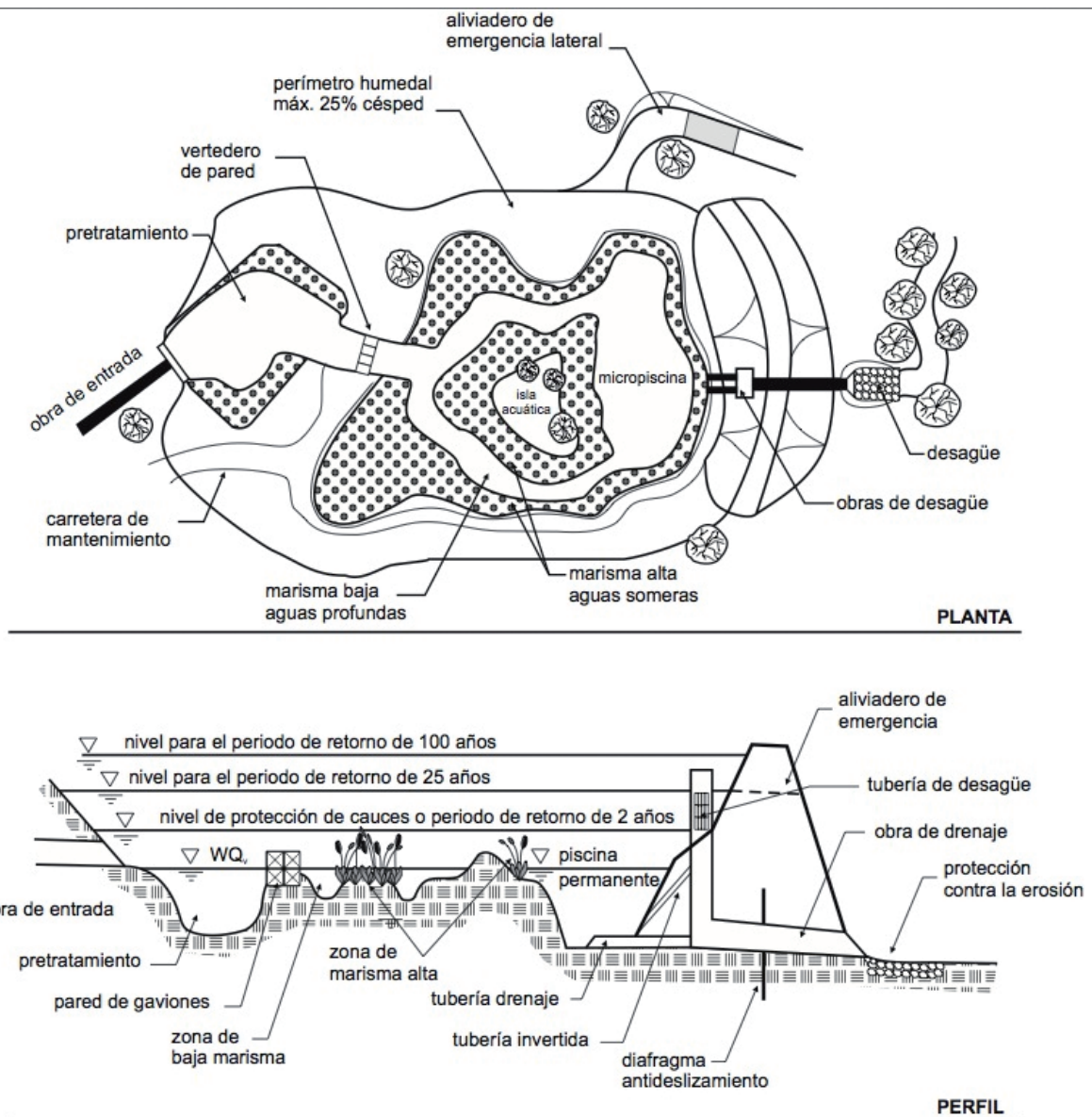


Figura 7. Humedal somero convencional (adaptado de MDE, 2000)

o un nivel freático elevado para que la vegetación del medio no desaparezca.

Los principales problemas específicos de los humedales se pueden producir por protestas de la ciudadanía relacionadas con la presencia de mosquitos, malos olores o suciedad. La capacidad de regulación y la protección del medio receptor ante aguaceros intensos es inferior a la que proporcionan los depósitos de detención o retención. Presentan inconvenientes similares a estos en cuanto a superficie de ocupación y problemática con el vertido a aguas sensibles, ya que la temperatura del efluente suele ser superior a la del medio receptor.

Estanques de infiltración

Los estanques de infiltración son estanques de detención que permiten la infiltración de la escorrentía en el suelo (figura 8). Como en las zanjas de infiltración, los estanques de infiltración, además de tratar la contaminación asociada a la escorrentía urbana, ayudan a preservar el balance hídrico, proporcionan un volumen de recarga a los acuíferos y contribuyen a preservar los caudales base de pequeños arroyos y cauces.

Los estanques de infiltración presentan una serie de ventajas sobre los estanques de detención. La primera diferencia con estas

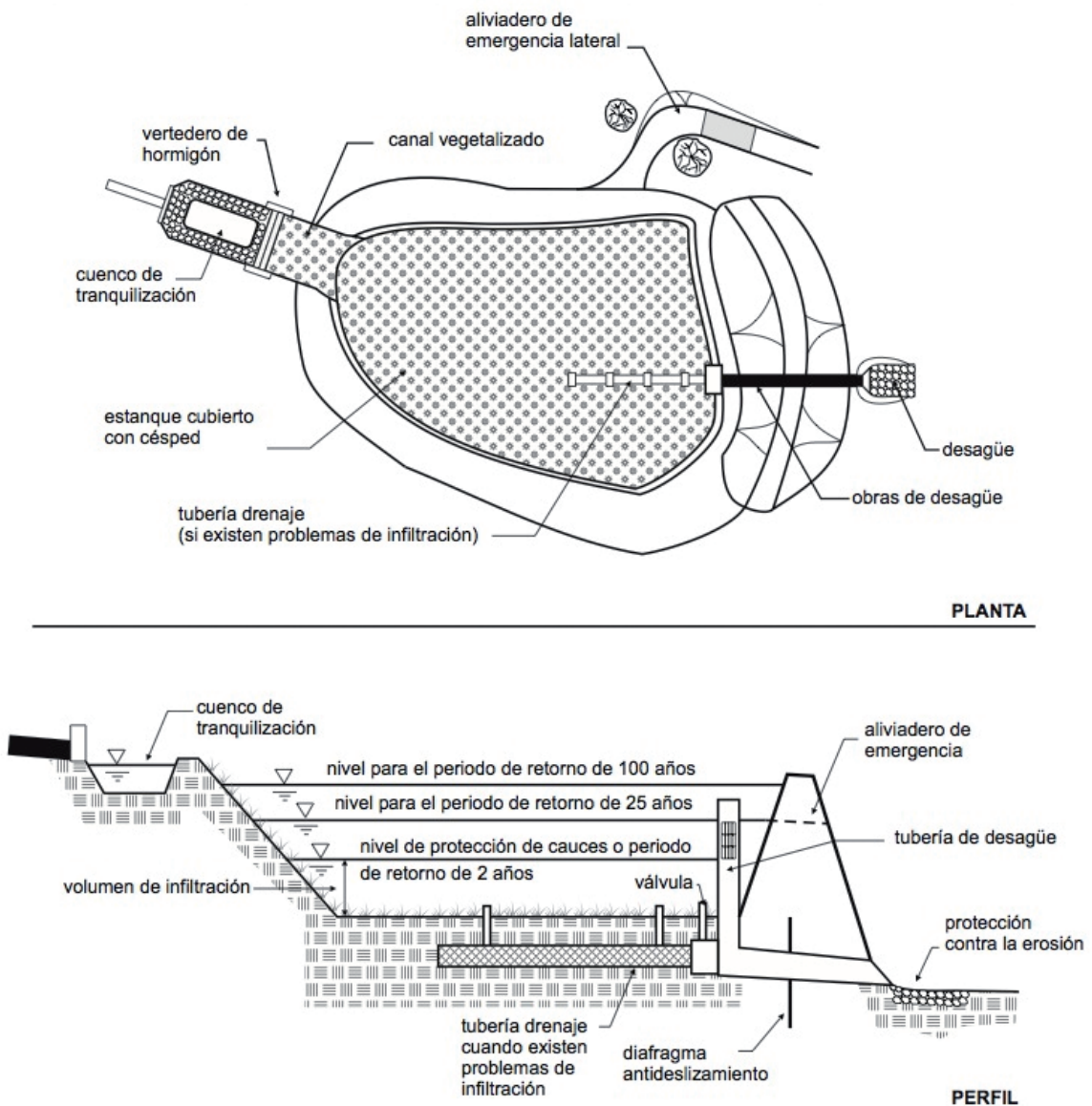


Figura 8. Estanque de infiltración (adaptado de MDE, 2000)

TDUS reside en su aplicabilidad al control de la contaminación. Los estanques de infiltración son capaces de tratar la contaminación disuelta, mientras que los estanques secos reducen, fundamentalmente, las fracciones de contaminación particulada. Además, la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementa un valor igual a la capacidad de infiltración del sistema, por lo que las partículas más finas decantarán mejor. Un último aspecto de estos estanques es que minimizan los impactos térmicos sobre medios receptores con peces de aguas frías.

Debido a su propia naturaleza estos sistemas no pueden emplearse en suelos poco permeables. Además, el nivel freático y las estructuras

de roca deben situarse por debajo del fondo del estanque para permitir las filtraciones al terreno. También debe prestarse atención a la posible contaminación del suelo. Uno de los principales inconvenientes de este sistema de tratamiento es el elevado coste de mantenimiento necesario para evitar atascos y colmataciones. Además, durante los primeros años de uso el sistema tiene muy poca fiabilidad y puede obstruirse con relativa facilidad.

Cunetas de césped

Las cunetas de césped, junto con las zonas de biorretención, son sistemas de biofiltros vegetales, empleados para conducir y tratar

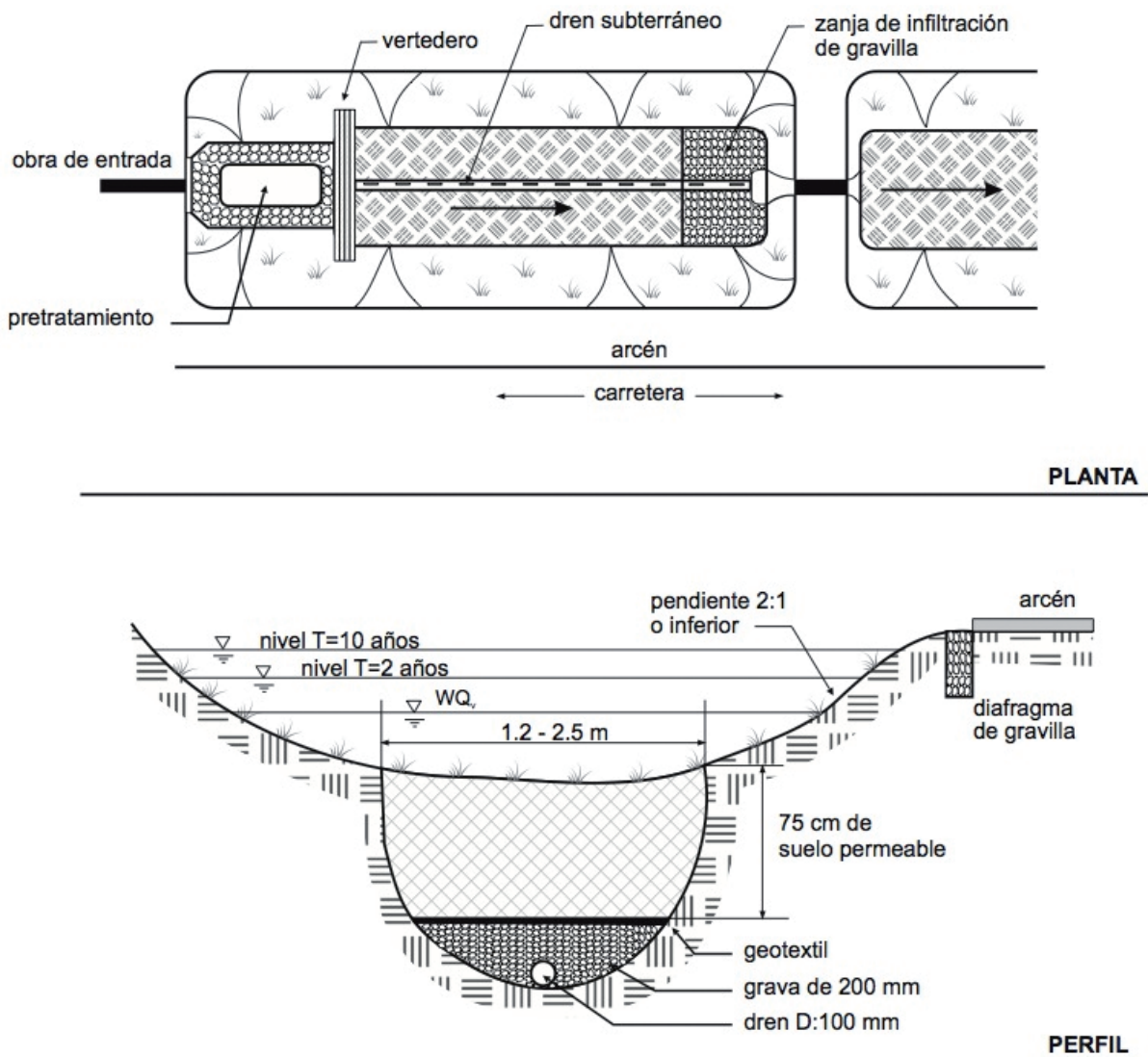


Figura 9. Cuneta vegetal verde seca o dry swale (adaptado de MDE, 2000)

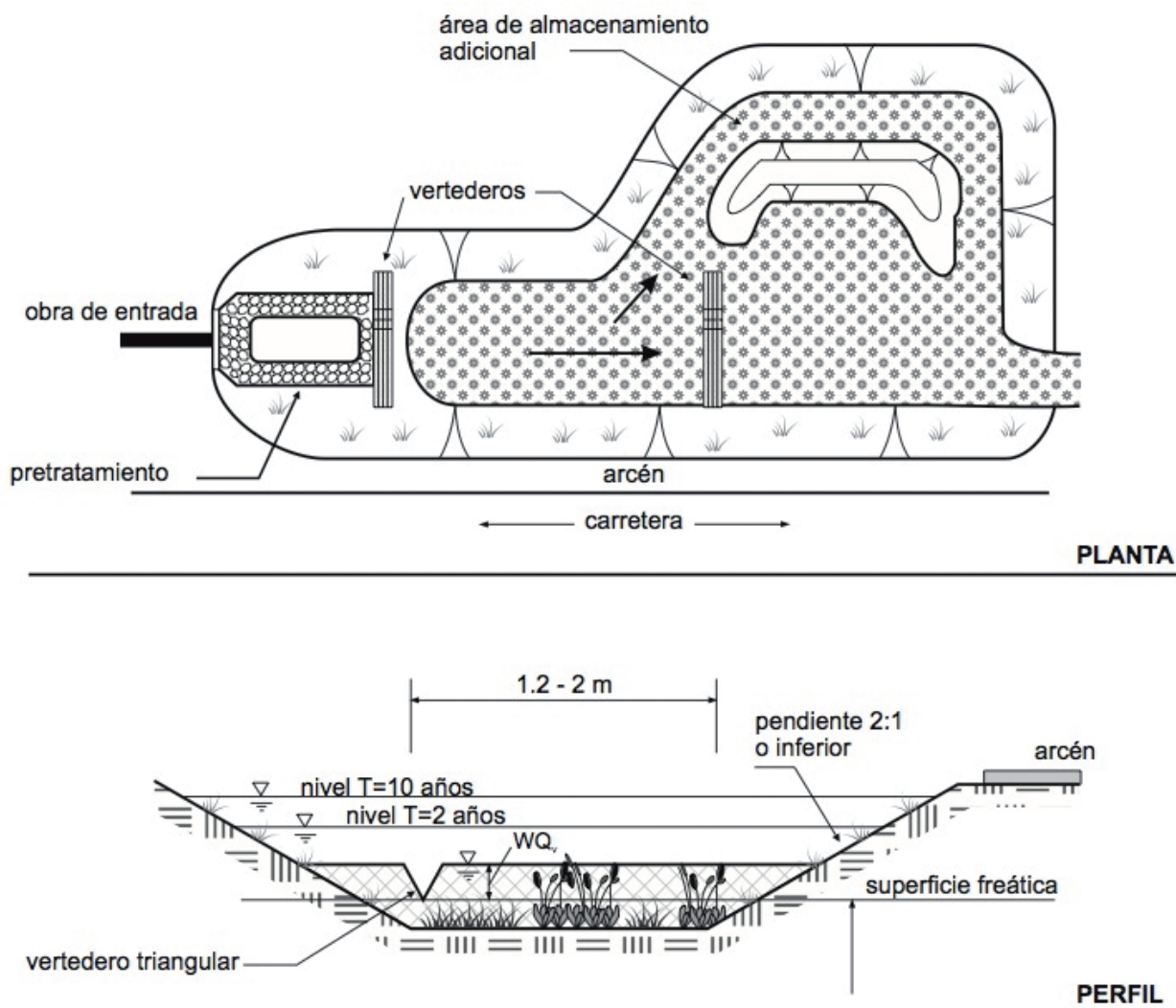


Figura 10. Cuneta vegetal verde húmeda o wet swale (adaptado de MDE, 2000)

las aguas en el primer eslabón de los trenes de tratamiento. De este modo, los biofiltros se emplean para infiltrar parte de la escorrentía, proporcionar un volumen de recarga para los acuíferos y controlar la contaminación de las zonas más altas de la cuenca.

Las cunetas verdes son canales anchos y poco profundos cubiertos con césped resistente a la acción erosiva del agua y a las inundaciones. La principal diferencia con otros sistemas de drenaje vegetados radica en que estos canales se diseñan para capturar y tratar el volumen de calidad de agua.

Se pueden diferenciar tres tipologías diferentes (MDE, 2000):

- *Cunetas tradicionales*. Son canales recubiertos de césped y que tienen como único objetivo transportar el agua de escorrentía.
- *Cuneta vegetal seca (dry swale)*. Es un canal vegetado que dispone de un filtro realizado con suelo muy permeable, o un medio poroso artificial, que hace las veces de dren (figura 9). El sistema se diseña para que todo el volumen de calidad se infiltre hacia el medio a través del fondo del canal. Como la ma-

yoría del tiempo permanecen sin agua, son la opción más empleada en entornos urbanos.

- *Cuneta vegetal húmeda (wet swale)*. Es un canal vegetado diseñado para retener de un modo permanente un volumen de agua. De este modo se dan las condiciones para que subsista vegetación como la de los humedales. Para mantener el volumen permanente es necesario que la superficie freática esté muy elevada, por lo que a veces, incluso, intercepte al canal, o que el suelo sea muy impermeable (figura 10).

Zonas de biorretención

En las zonas de biorretención la escorrentía se infiltra en una zona deprimida en la que se dispone un suelo muy permeable y un dren de arena o gravilla. El sistema se caracteriza por la vegetación que se dispone para mejorar el proceso de eliminación de contaminación y consta de una estructura de regulación a la entrada, un pretratamiento, que suele ser una zanja vegetal de infiltración, y un dren filtrante de arena perimetral a la zona deprimida donde se percola la escorrentía (véase la figura 11).

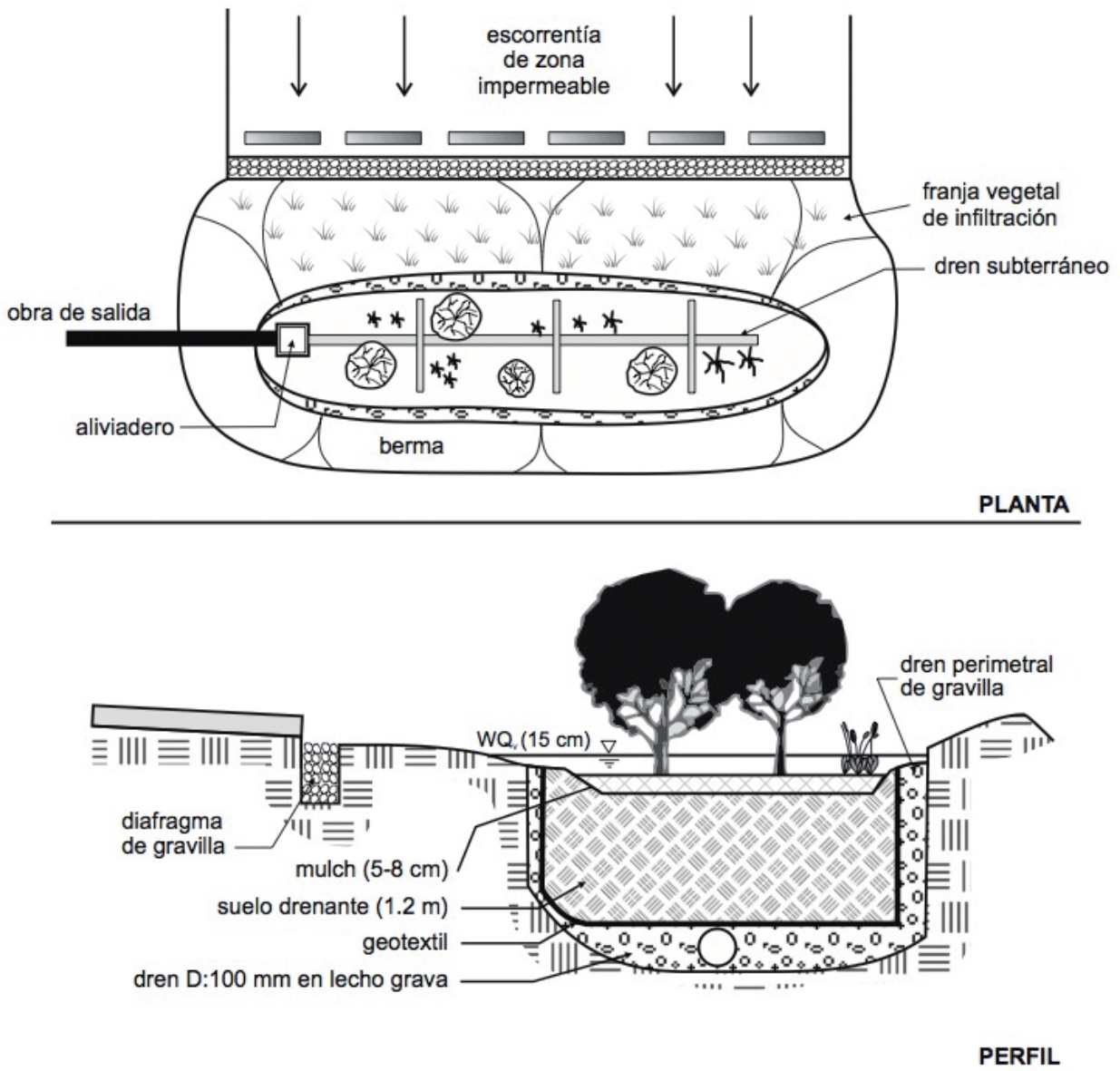


Figura 11. Esquema de una zona de biorretención (adaptado de MDE, 2000)

Las zonas de biorretención tratan el volumen de calidad de agua que se infiltra a través del terreno y se recoge por un sistema de drenes que habitualmente devuelven el agua al sistema de drenaje. Estas instalaciones son muy buenas como sistemas de tratamiento, ya que incorporan una alta variedad de mecanismos para la eliminación de contaminantes. Cada una de las zonas que componen el sistema está ideada para cumplir una función específica. Así, la franja vegetal filtrante reduce la velocidad del flujo y atrapa las partículas más gruesas. En la zona de detención se facilita la infiltración, evaporación y se mejora la sedimentación de las partículas. El filtro orgánico, *mulch*, favorece el crecimiento de microorganismos que eliminan hidrocarburos y materia orgánica. Lo mismo sucede en el suelo filtrante, que además elimina metales pesados y nutrientes. La vegetación introducida favorece la eliminación de contaminantes y estabiliza el suelo. Por último, el filtro de arena proporciona el drenaje de la zona y favorece las condiciones aeróbicas.

Existen numerosos escenarios en los que puede aplicarse estos sistemas. Las zonas de biorretención se pueden construir para tratar la escorrentía asociada a viviendas unifamiliares, como sistema de tratamiento de la escorrentía de aparcamientos, a lo largo de cunetas vegetales instaladas en paralelo a carreteras o autopistas y en isletas de tráfico en zonas impermeables de suelo urbano denso.

Filtros de arena

Los filtros de arena son estructuras de control de la escorrentía que almacenan el agua temporalmente y la hacen atravesar varias capas de arena, lo que permite mejorar su calidad por sedimentación y filtración. Generalmente, estos sistemas presentan dos cámaras: la primera de ellas, denominada *de sedimentación*, favorece la eliminación de flotantes y de las partículas más grandes y pesadas; la segunda cámara está formada

por un filtro de arena que afina la calidad del efluente. En algunas tipologías se construye, además, una tercera cámara de descarga.

Después de que el agua pase por la infraestructura de tratamiento esta se vierte a la red de alcantarillado, aunque también puede infiltrarse en el terreno una parte del volumen de tratamiento si las características del mismo son adecuadas. Estos sistemas requieren menos espacio para su construcción que los sistemas de infiltración, por lo que se usan principalmente en zonas urbanas densas.

Las diferencias entre los distintos tipos de filtros radican en su localización (en superficie o subterráneos) el área de drenaje, la superficie del filtro, las necesidades de terreno y la cantidad de escorrentía que tratan.

Las tipologías de filtros de arena más importantes son las siguientes:

- Filtros superficiales
- Filtros perimetrales
- Filtros enterrados
- Filtros orgánicos

Las características de los tres primeros son similares, ya que únicamente presentan diferencias en la configuración de las cámaras que los componen. Así, los filtros superficiales y perimetrales poseen dos cámaras (una de sedimentación o desbaste y la segunda de filtrado), mientras que los filtros enterrados presentan tres cámaras (la tercera cámara conduce la escorrentía hacia la red de drenaje).

Los filtros perimetrales son estructuras enterradas construidas a lo largo de un lateral de una superficie impermeable, como por ejemplo un aparcamiento. La escorrentía se introduce a través de una serie de rejillas o tapas de sumidero por la parte superior del filtro hacia la cámara de sedimentación. De esta pasa hacia la zona de filtración a través de un aliviadero lateral (figura 12).

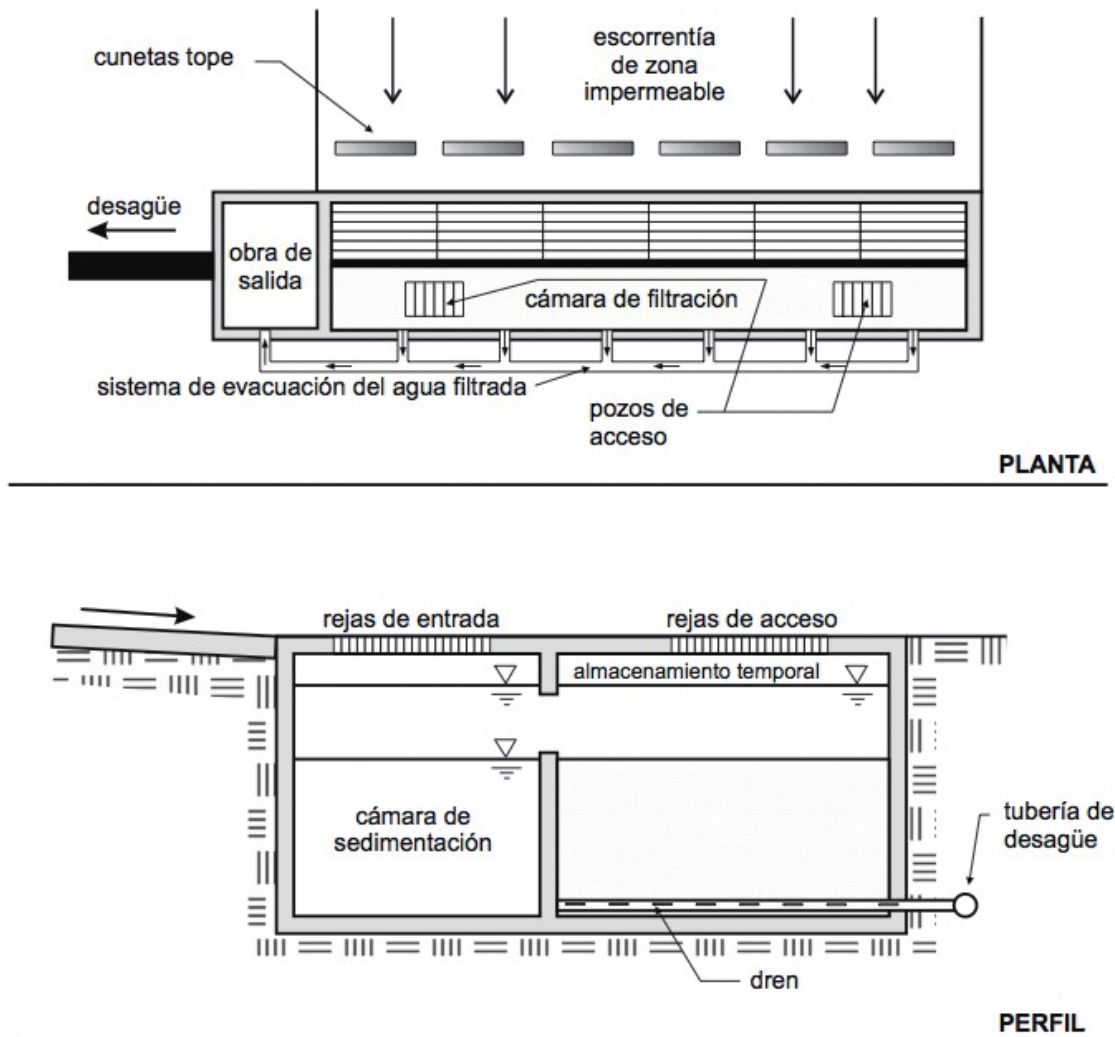


Figura 12. Esquema de un filtro perimetral en un aparcamiento urbano (adaptado de MDE, 2000)

Los filtros de arena subterráneos son una variante de los filtros superficiales que se sitúan en una cámara subterránea. Fundamentalmente se aplican en desarrollos urbanos de alta densidad donde no existe espacio para disponer filtros de arena o cualquier otra técnica de gestión de la escorrentía estructural que necesite una alta ocupación.

Como se puede ver en la figura 13, estos sistemas presentan tres cámaras. La primera es la cámara de sedimentación, que almacena temporalmente la escorrentía y elimina los flotantes y los sedimentos en un volumen de agua permanente. La cámara de sedimentación está conectada a la cámara de filtra-

ción a través de una pared sumergida que protege al filtro de aceites y flotantes. El filtro dispone de un sistema de drenaje que conduce las aguas a la tercera cámara, que es donde se vierten también los reboses que el filtro no es capaz de tratar.

Debido a su situación bajo tierra, este tipo de filtros requieren un mantenimiento más complejo que los filtros superficiales y solo pueden emplearse cuando se garantizan unas condiciones de explotación y revisión adecuadas. Por último, los filtros orgánicos son similares a los superficiales en cuanto a su configuración, pero en los primeros se sustituye el medio filtrante de arena por un medio orgánico.

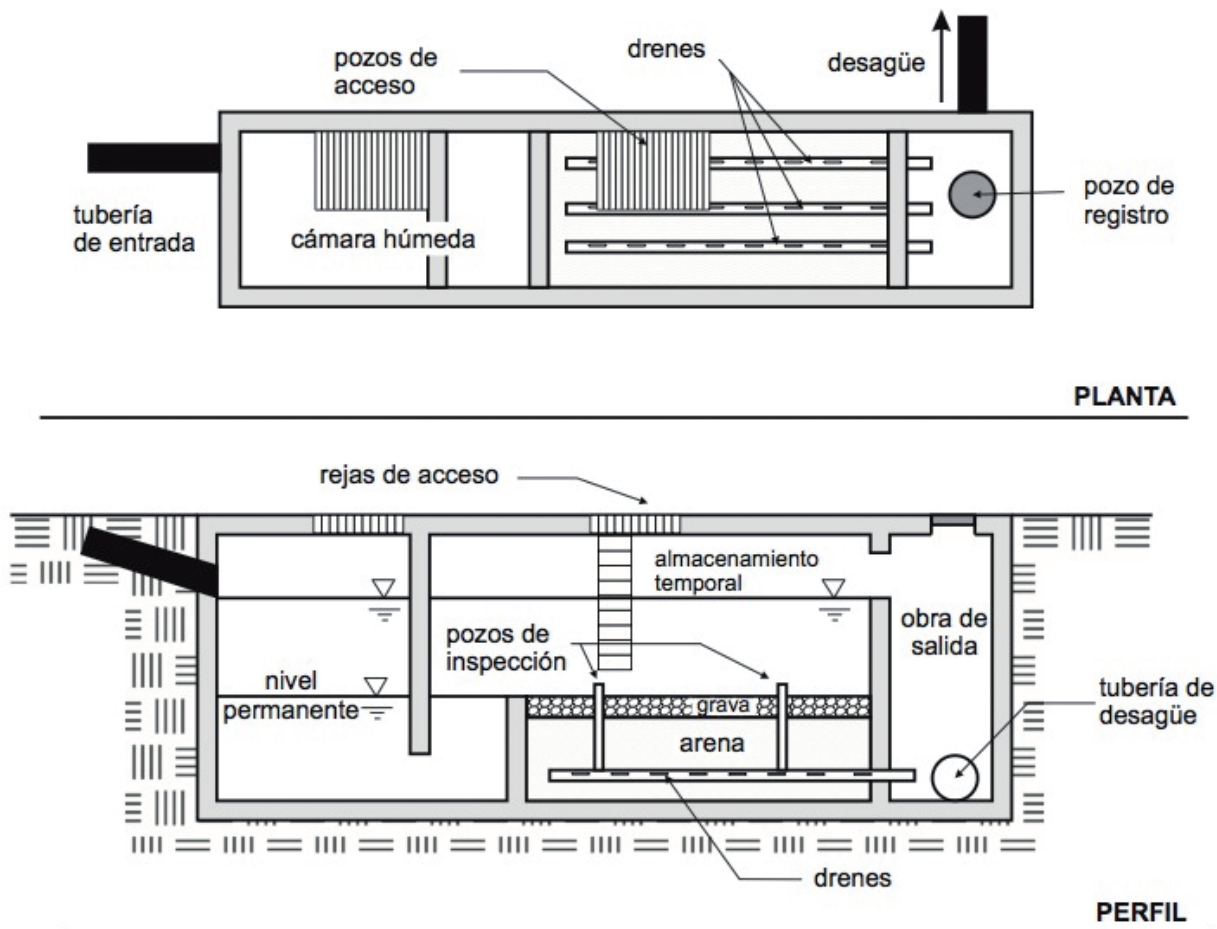


Figura 13. Esquema de un filtro subterráneo (adaptado de NYSDEC, 2001)

3. CONSIDERACIONES FINALES

La planificación y selección de las TDUS no es una tarea sencilla, ya que deben contemplarse tanto el control de cantidad y calidad del agua que la infraestructura va a proporcionar como su servicio e integración en la comunidad. Por este motivo, factores como la integración paisajística, el entorno arquitectónico, los usos urbanos o la potencialidad de generación de hábitats adecuados para la flora y la fauna local deben contemplarse en el diseño (Castro *et al.*, 2005)

El primer paso para realizar la planificación de una infraestructura de este tipo consistirá en disponer de una serie de datos iniciales. El estudio del sistema de drenaje original de la zona es un buen punto de partida, ya

que uno de los principales criterios de diseño consiste en mantener el patrón de los hidrogramas existentes antes del desarrollo urbano de la zona. Otros datos básicos son los relacionados con el régimen de precipitaciones de la zona. Debe disponerse de series de precipitación para poder realizar análisis de frecuencias e intensidades con objeto de elaborar las lluvias de diseño. También es importante conocer los puntos donde se prevén los reboses y vertidos de la red de saneamiento, ya que estos pueden condicionar la ubicación de las infraestructuras de tratamiento.

A la hora de seleccionar la técnica o grupo de técnicas que mejor se adaptan a los objetivos de diseño de cada cuenca urbana, se deben contemplar, particularmente, los siguientes factores (Puertas *et al.*, 2008):

Normativas y disposiciones legales

En primer lugar, se debe analizar si por condicionantes legales es imperativo el diseño de algún tipo de TDUS. En el ámbito de los sistemas de saneamiento gallegos es de aplicación lo establecido en las instrucciones técnicas para obras hidráulicas en Galicia (ITOHG). En estas instrucciones se indica que el principio de gestión sostenible en los nuevos desarrollos urbanos será el de no modificar sustancialmente la hidrología natural de las cuencas. Por esto motivo, las ITOHG recomiendan, en la construcción de nuevos espacios urbanos, las TDUS necesarias para que los caudales y volúmenes de aguas pluviales no superen los valores máximos existentes previamente a la urbanización de las cuencas naturales.

Además, en algunas circunstancias será obligatorio construir TDUS para reducir la contaminación movilizada hacia los medios naturales. Estas circunstancias son las siguientes:

- En zonas de nueva construcción donde se incrementen los caudales vertidos hacia el medio receptor.
- En medios rurales con población superior a 1.000 habitantes. En aquellos núcleos en los que se pueda generar una gran cantidad de contaminación difusa (pesticidas, erosión del suelo, etc.) se aplicarán, en todos los casos, TDUS.
- En zonas industriales.
- En aparcamientos de superficie superior a 0,5 ha.
- En carreteras con intensidad media diaria (IMD) superior a los 20.000 vehículos/día.
- En zonas como gasolineras, inmediaciones de estaciones de ferrocarril o de autobuses, o similares.

Estas condiciones son más restrictivas cuando los vertidos de aguas pluviales se conducen a zonas sensibles o con alguna protección especial según la Directiva Marco del Agua. Por último, deben revisarse los condicionantes legales relativos, por ejemplo, a las distancias mínimas con otros elementos como edificios, fosas sépticas, pozos, etc. Otro aspecto que debe contemplarse es la protección de elementos aguas abajo del sistema de tratamiento.

Impactos sobre el entorno

Los principales impactos que producen las aguas de escorrentía sobre el entorno se pueden clasificar en físicos (erosión de cauces y llanuras, impactos térmicos, etc.), químicos e impactos sobre el hábitat.

Factores relacionados con el medio receptor

El diseño de las TDUS puede estar muy influenciado por la naturaleza de las masas de agua receptoras. La zonificación en usos de las aguas afectadas por los vertidos de aguas pluviales es un aspecto fundamental para la definición de la TDUS, ya que los usos que se especifiquen, ya sean por definición legal o por hábitos de la población, implican que debe existir una determinada calidad mínima del agua.

Factores ambientales y sociales

En este grupo de factores se incluyen aspectos como los costes de mantenimiento, los costes de construcción, el nivel de aceptación del sistema en la comunidad o la capacidad que posee el sistema para proporcionar calidad al hábitat receptor de las cargas de agua y la contaminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DOCUMENTALES

- ARC. *Georgia Stormwater Management Manual. Volume 2: Technical Handbook*, State of Georgia, Atlanta Regional Commission, Atlanta, 2001.
- CASTRO, D.; RODRÍGUEZ, J.; RODRÍGUEZ, J. y BALLESTER, F. «Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)», *Interciencia*, vol. 30, n.º 5, 255-260, 2005.
- CIRIA. *Sustainable Urban Drainage Systems. Design Manual for Scotland and Northern Ireland*, Construction Industry Research and Information Association, Report C251, Londres, 126 p., 1999.
- DEBO, T. N. y REESE, A. J. *Municipal Storm Water Management*, CRC Press, Florida, 756 p., 1995.
- MDE. *Maryland storm water design manual (2 vol.)*, Maryland Department of the Environment, Baltimore, 2000.
- NYSDEC. *New York State. Stormwater Management Manual*, New York State, Department of Environmental Conservation, Albany, 398 p., 2001.
- PUERTAS, J.; SUÁREZ, J. y ANTA, J. *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*, monografía M-98, CEDEX, 600 p., 2008.
- TEMPRANO, J.; CERVIGNI, M.; SUÁREZ, J. y TEJERO, I. «Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control en origen», *Revista de Obras Públicas*, n.º 3352, p. 45-57, 1996.
- US-EPA. *Considerations in the design of Treatment BMP to improve water quality*. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, US-EPA/600/R-03/103, 185 p., 2002.