

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles. Una Alternativa de Futuro.



Fuente: Atlantis



Trabajo Fin de Grado

Autor: Antonio Jesús Fuentes Roldán G⁹⁵

Director: Jaime Navarro Casas

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Sevilla

2-7-2015

ÍNDICE

1. Motivación, Relevancia y Objetivos	2
2. Estado del Arte	3
3. Metodología	57
3.1 Diagonal. Barcelona.....	59
3.2 Barrio de las Huertas. Sevilla.....	65
4. Análisis Comparativo de Datos.....	71
5. Conclusiones.....	72
6. Ideas para ampliar el trabajo	73
7. Bibliografía	74

1. Motivación, Relevancia y Objetivos

La búsqueda, cada vez mayor, de las ciudades por ser medioambientalmente más sostenibles, nos hace reflexionar sobre la importancia, como es obvio, de gestionar de manera eficiente el recurso más importante que tenemos en nuestro planeta, el agua.

Ya desde la Directiva 2000/60/CE, la Unión Europea establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de las políticas del agua, promoviendo su uso sostenible.

Es importante destacar algunos datos:

- El 70% de la superficie de la Tierra es agua, pero menos de un 3% de esa agua es potable.
- Dos tercios de la población mundial vivirá en condiciones muy limitadas para obtener agua en 2025. [OMS]
- Casi 783 millones de personas no tienen acceso al agua potable. [OMS]
- El volumen de aguas residuales generado por todos los continentes en el año 1995 fue superior a 1.500 km³, es decir, cada litro de agua residual contamina 8 litros de agua dulce, o lo que es lo mismo, 12.000 km³ de recursos hídricos no están disponibles para su aprovechamiento. [Shiklomanov, 2004]
- Si la contaminación sigue el mismo ritmo de crecimiento, se estima que en 2050 el planeta perderá 18.000 km³ de recursos hídricos. [Shiklomanov, 2004]
- En 1998, 28 países experimentaron escasez hídrica. Se prevé que esta cifra aumente a 56 para el año 2025. [OMS]

Partiendo de estos datos, entre otros, parece esencial atacar de manera frontal la gestión del agua que llevamos haciendo de manera tradicional en muchos países del primer mundo.

Objetivo general:

- Localizar las investigaciones más actuales y relevantes en cuanto a Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles, estableciendo una visión general sobre los objetivos de estos sistemas, ventajas y desventajas, como se materializan y que criterios de diseño siguen.

Objetivos específicos:

- Profundizar en las características de las diferentes técnicas de drenajes sostenibles.
- Profundizar en los tipos de pavimentos permeables, puntos de retención y cunetas verdes.
- Analizar dos casos de estudio situados en España, con el objetivo de ver la eficacia de estos sistemas.

2. Estado del Arte

2.1 Introducción

Según Daniel Castro, Sara Perales y Helena Ramos, [Castro-Fresno. 2013], [Perales. 2008] y [Ramos, 2013], los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles son elementos integrantes de la infraestructura urbano-hidrólogo-paisajística, destinados a filtrar, retener, infiltrar, transportar y almacenar agua de lluvia, sin que la misma se contamine e incluso eliminando parte de la carga contaminante que puedan contener. Son sistemas que se vienen aplicando con éxito en países como Reino Unido, EE.UU, Japón, Australia, Alemania, Francia y Holanda, entre otros. Estos sistemas cumplen con los objetivos de las políticas del agua en España y Europa.

La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) confirma que el espacio urbano es cada vez mayor, las áreas verdes son reducidas y la mayoría de personas viven en zonas urbanas en lugar de zonas rurales. Europa es uno de los continentes con mayor ratios de urbanización, aproximadamente un 75% de la población viven en áreas urbanas y para el año 2020 se espera que sea el 80%.

La EEA también establece que el espacio ocupado por las zonas urbanas está aumentando más rápido que la población misma. Se espera que entre 2000 y 2030, la población mundial aumente un 72%, mientras que para el mismo periodo se espera un incremento de las áreas urbanas en un 175% con 100.000 o más habitantes. En la **Figura 1**, se muestra el crecimiento de la población mundial para el 2030. Para hacer frente a esto, se necesitan sistemas de drenaje urbano sostenibles e innovadores ya que la demanda de agua y la impermeabilización del suelo aumentarán.

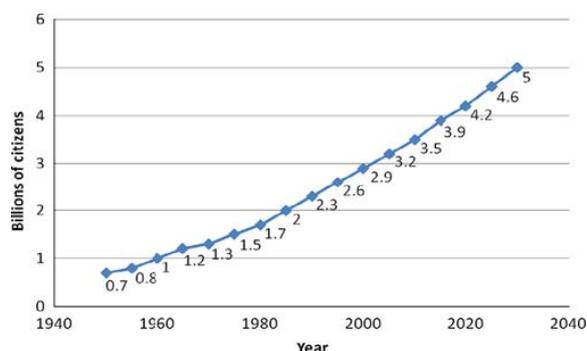


Figura 1: Incremento de la población mundial.

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente.

El estudio de las diferentes técnicas de drenaje urbano sostenibles se inició en la década de 1970 en los EEUU con el nombre de BMPs y después, a finales de 1980, en Europa, donde se extendió más por los países del centro y del norte que en los países del sur, aún hoy, países como España, Italia, Grecia o Portugal cuentan con escasas experiencias. Fue en Reino Unido donde se acuñó el nombre de SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible). No fue hasta 1993 cuando fueron estudiados por primera vez en España por el grupo de investigación GITECO de la Universidad de Cantabria.

España es un país con un clima lleno de contrastes, en el cual hay periodos de largas sequías y de lluvias torrenciales, sobre todo en las regiones mediterráneas. Esta situación ha promovido la urgente necesidad de gestionar las aguas pluviales de manera eficiente para evitar la falta de recursos hídricos en las zonas más secas del sur del país y gestionar grandes volúmenes de precipitaciones en las regiones más septentrionales.

Desde la época del Imperio Romano hasta la ocupación Islámica en España, el agua ha sido considerada un recurso esencial para la prosperidad de las ciudades. El Imperio Romano logró el ciclo urbano del agua, tanto de abastecimiento como de saneamiento, mediante un sistema de doble tubería. Cabe destacar de los musulmanes, numerosas cisternas de recogida de aguas pluviales tanto para el uso doméstico como para el abastecimiento de poblaciones enteras.

En cambio, durante la Edad Media, la importancia dada al agua como fuente de salud y bienestar disminuyó, ya que las aguas residuales sin tratar se vertían directamente en las calles, causando brotes de enfermedades.

El progresivo desarrollo y crecimiento de los asentamientos acompañados de la impermeabilización del suelo urbano durante la Revolución Industrial, causaron graves problemas de salud a la población española.

Las altas tasas de mortalidad fueron vinculadas a los inconvenientes asociados al uso del agua. Un hito importante se produjo en 1912, cuando la “Comisión Real de eliminación de aguas residuales” estableció las normas y pruebas que se debían aplicar para caracterizar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales en el Reino Unido. A partir de ese año, las principales ciudades europeas comenzaron a construir plantas de tratamiento de aguas residuales. Llegó la necesidad de evacuar rápidamente las aguas residuales de las ciudades para evitar el estancamiento y el desarrollo de organismos portadores de enfermedades. El movimiento masivo de personas del campo a la ciudad durante el siglo XX provocó, aún más si cabe, el incremento de suelos impermeables, agravándose la situación en las últimas décadas por la urbanización descontrolada.

Todo esto ha llevado a sistemas de alcantarillado mixtos, que evacúan lo más rápido posible el agua de lluvia, pero que son incapaces de eliminar completamente la escorrentía urbana producida en épocas de lluvia intensa.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles forman parte de las nuevas estrategias de mejora de la gestión y funcionamiento del ciclo del agua a nivel Urbano.

A partir de la década de 1950 continuó el rápido crecimiento urbanístico en muchas de las ciudades del primer mundo generándose ingentes cantidades de suelo impermeable, alterando el ciclo hidrológico natural del agua, lo cual genera problemas de drenaje en superficies que anteriormente y con naturalidad eran capaces de gestionar el agua de lluvia que recibían.

Los problemas más destacados debido a la urbanización son:

- **Las inundaciones y el colapso de los sistemas convencionales:** la incapacidad para evacuar de manera inmediata grandes cantidades de agua de lluvia en un corto periodo de tiempo de los sistemas convencionales, hacen que se produzcan inundaciones con frecuencia, en los puntos más bajos de muchas ciudades, provocando importantes daños materiales. En ocasiones un dimensionado inferior al requerido o la falta de mantenimiento ayudan a que se produzcan estos problemas. El dimensionado de las redes de evacuación de aguas siempre se podría adecuar a un volumen mayor, pero el coste sería desorbitado y además no se garantizaría al 100% que no se produjesen inundaciones.

- La **contaminación difusa**: la pérdida de la calidad de las aguas de lluvia se produce a medida que el agua recorre el camino de los sistemas de drenajes tradicionales, mezclándose con aguas grises y fecales. Esto provoca que el agua prácticamente limpia de lluvia se convierta en agua sucia a depurar, sometiendo al sistema convencional a un régimen no uniforme que provoca el incorrecto funcionamiento de las depuradoras.
- La **desnaturalización**: la presión urbanística hace cada vez más difícil encontrar masa verde natural en el entorno de las ciudades, y muchas de las que hay son artificiales y prácticamente impermeables, por lo que se tiende a desnaturalizar el área urbana. Esto altera el ciclo natural del agua, se pierde calidad visual, se impide la recarga de los acuíferos y se genera el efecto isla de calor, incrementando las temperaturas en verano en el interior de la ciudad. Todos estos inconvenientes no solo afectan a nivel medioambiental, sino también a nivel económico y social.

En términos de sostenibilidad, la solución más viable a estos problemas es aumentar la capacidad de infiltración de las superficies urbanas.

Las técnicas de drenaje sostenible se han convertido en un conjunto de sistemas que reproducen los procesos naturales de gestión del agua. Su objetivo es mitigar los volúmenes máximos de escorrentía y reducir la contaminación mediante la implementación de mecanismos de infiltración, transporte y retención.

Es tan importante urbanizar, como que esa urbanización sea sostenible. Tomando como base la **Figura 2**, el triángulo de la sostenibilidad, concepto adoptado en la cumbre de Río de 1992 y plasmado en el documento “Informe Brundtland” (1987), se plantea un nuevo enfoque en el diseño del drenaje urbano. Para el diseño de las ciudades desde el punto de vista del drenaje es fundamental considerar equilibradamente los aspectos relacionados con la cantidad de agua, su calidad y el servicio que ofrece a la sociedad.



Figura 2: Triángulo de la Sostenibilidad.

Fuente: Cumbre de Río. 1992

2.2 Ciclo del agua de lluvia

Según Daniel Castro y Sara Perales, [Castro-Fresno. 2008] y [Perales. 2008], se ha de observar el ciclo completo del agua de lluvia para comprender el funcionamiento del mismo y así poder optimizar el funcionamiento de los sistemas de drenaje urbanos.

El ciclo es un proceso sencillo, parte del agua de precipitación es interceptada por la vegetación antes de llegar al suelo, el resto, se filtra por el terreno antes de producir escorrentía superficial y subsuperficial. La escorrentía depende del tipo de terreno de la cuenca y de la topografía. El agua acaba concentrándose en ríos, lagos, humedales o se filtra recargando los acuíferos naturales. Además en todo el ciclo se producen evapotranspiración de las plantas y evaporación, necesarios para cerrar el ciclo.

En cambio el ciclo del agua en zonas urbanas es diferente. El agua antes de llegar al suelo purifica el aire, recogiendo partículas contaminantes que se arrastran posteriormente junto a otras partículas depositadas en los pavimentos impermeables.

Por otro lado, en las ciudades hay poca presencia de superficie vegetal de captación pero en cambio tenemos cubiertas de edificios totalmente impermeables, las cuales suponen una gran superficie de captación en las zonas urbanas consolidadas. Teniendo en cuenta tanto la impermeabilidad de los pavimentos como la de los tejados, podemos concluir que apenas se produce infiltraciones, con lo cual los acuíferos naturales quedan completamente aislados. El agua pluvial limpia todas las superficies impermeables de la ciudad arrastrando consigo una gran carga contaminante (sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos), que aumenta cuando llegan finalmente al alcantarillado subterráneo.

Tal y como muestra la **Figura 3**, se estima que en zonas naturales el porcentaje de escorrentía es despreciable, apenas del 5%, con respecto al 95% aproximadamente que se vierte a cauces o acuíferos naturales. En zonas urbanas de baja densidad (entornos rurales y residenciales) el valor de infiltración decrece hasta un 30%, generando una escorrentía del 70% aproximadamente. En zonas urbanas de alta densidad el valor de infiltración es despreciable, mientras que la escorrentía es del 95% aproximadamente.

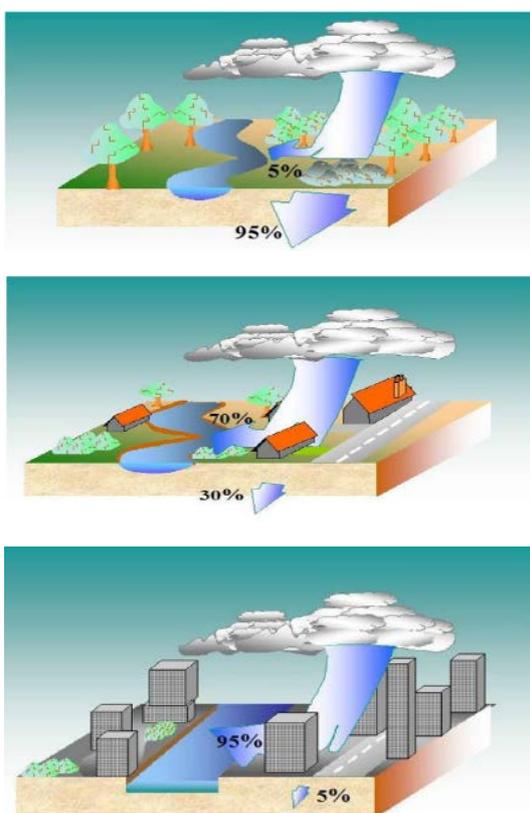


Figura 3. Imágenes de escorrentía del agua en diferentes entornos. Fuente: Coupe, S

2.3 Investigación de SUDS en España

Según Daniel Castro [Castro-Fresno. 2013], estas tecnologías alternativas de drenaje urbano no se han consolidado todavía en España. Un escollo importante y argumento habitual de los técnicos más escépticos, es la diferencia evidente entre los patrones de lluvia en el Mediterráneo y el norte de Europa. El carácter torrencial de las precipitaciones en las vertientes mediterráneas, hace replantear la eficiencia que los SUDS pueden tener bajo estas condiciones.

Sin embargo, en países como EEUU o Australia con climatología muy parecida a la española, estas técnicas están muy extendidas.

A pesar de todo ello, **el grupo de investigación GITECO de la Universidad de Cantabria ha llevado a cabo numerosos estudios e investigaciones desde que el concepto de drenaje sostenible llegó a España en 1992**. Concretamente se centran en solucionar los problemas de escorrentía urbana de aguas pluviales mediante pavimentos permeables, los cuales tienen un papel notable en la reducción de la contaminación y escorrentía urbana, aumentando la infiltración del suelo urbano. También estudian métodos de bio-asimilación para el filtrado de agua contaminada de zonas agrícolas antes de descargarlas a los ríos, a través de franjas filtrantes y cunetas verdes. Los primeros estudios que culminaron en 1995, clasifican las medidas para reducir los problemas de escorrentía urbana en medidas estructurales y no estructurales.

No fue hasta 2003 cuando el concepto SUDS comenzó a utilizarse en España, año en el que **tiene lugar el primer proyecto de investigación español por el grupo GITECO**, titulado “Desarrollo de nuevos pavimentos permeables para biodegradar hidrocarburos”. El objetivo del proyecto fue el diseño de pavimentos permeables hechos con materiales reciclados para zonas de aparcamiento.

El proyecto se dividió en dos partes: en primer lugar, el estudio de la **calidad del agua** centrándose en la degradación de hidrocarburos y en segundo lugar, **la mecánica** del pavimento permeable, como el flujo hidráulico, almacenamiento y filtrado. El objetivo era estudiar la viabilidad del uso de pavimentos permeables en España y determinar los materiales óptimos de construcción en términos de costo-efectividad. Para las simulaciones se utilizó un infiltrómetro, como se puede ver en la **Figura 4**. El equipo también estudió la viabilidad de utilizar geotextiles a base de poliéster y polietileno para este propósito. Finalmente fue construido el aparcamiento de “La Guía” en Gijón con diferentes tipos de superficies permeables.

En los pavimentos permeables **también se estudió la influencia de la inclinación y las condiciones de obstrucción** en la capacidad de infiltración de dichos pavimentos hechos de bloques de hormigón impermeable, estudiándose cuatro bloques de hormigón con distintas disposiciones geométricas como se puede ver en la **Figura 5**. Llegando a la conclusión de que los bloques más largos con ranuras estrechas eran más efectivos que los bloques con ranuras más cortas y amplias. También concluyeron que la cantidad y tamaño de las partículas de limo afectan al rendimiento hidráulico y que la reducción de la capacidad de infiltración aumenta cuando la superficie del pavimento está obstruido.

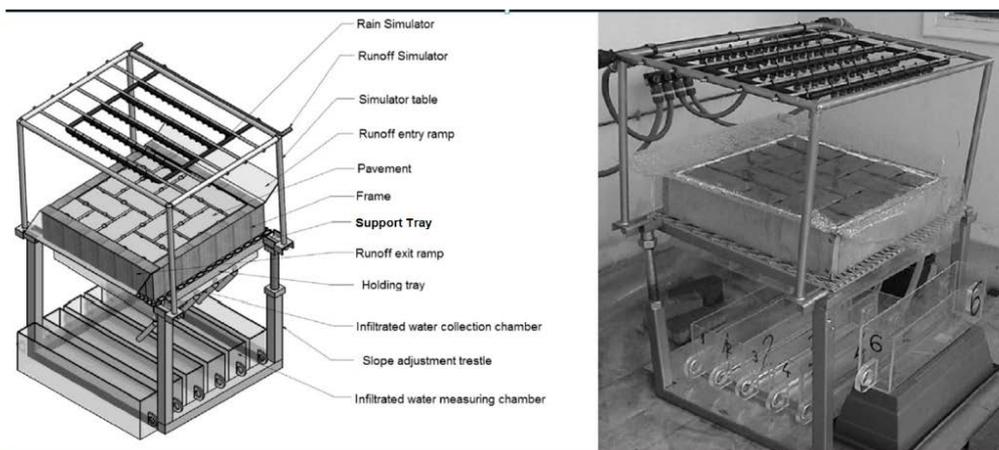
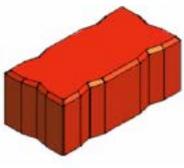
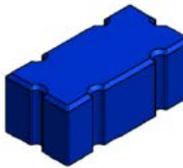
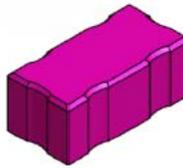


Figura 4. Prueba de infiltración con un infiltrómetro. Fuente: Grupo de investigación GITECO

Concrete block	B1	B2	B3	B4
Slot shape	Rhomboidal	Circular	Square	Elliptical
Infiltration area (mm ²)	600.0	600.0	603.2	603.2
Model view				

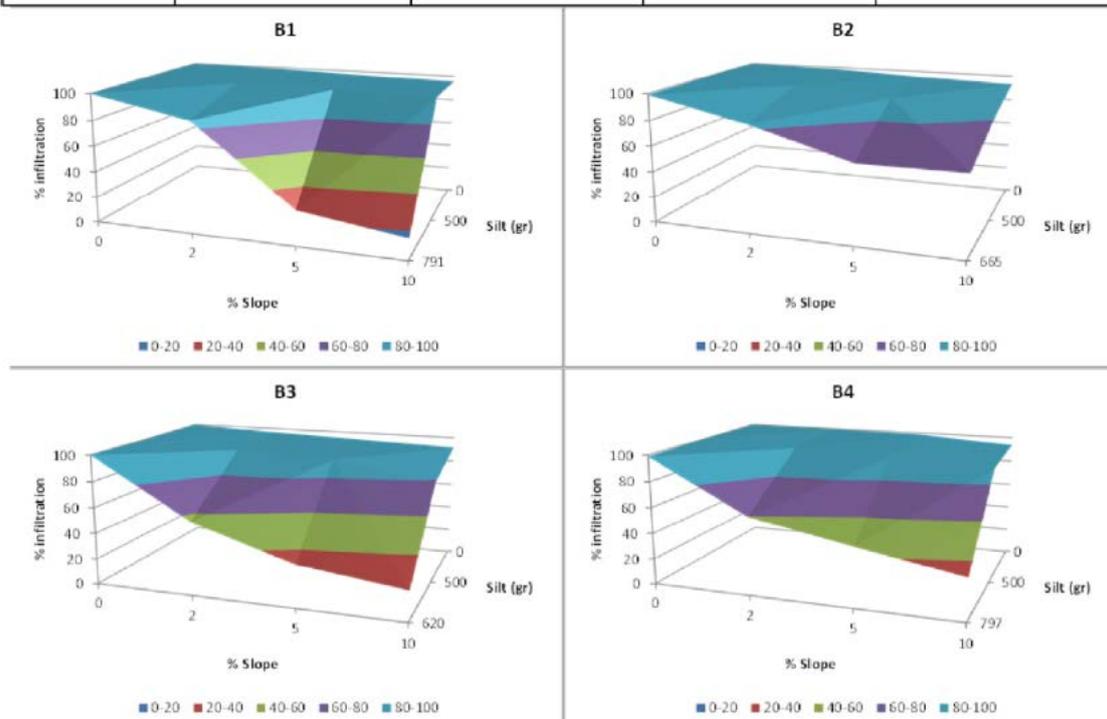


Figura 5. Resultados de la permeabilidad de diferentes superficies. Fuente: Grupo de investigación GITECO.

Más tarde, evaluaron la capacidad de infiltración de una mezcla de asfalto poroso bajo diferentes condiciones de obstrucción y pendiente. Concluyendo que un diseño adecuado de una mezcla bituminosa porosa, con un porcentaje de vacío que aumenta con la profundidad, son suficientes para asegurar y mantener una buena capacidad de infiltración, siempre y cuando tenga un mantenimiento adecuado.

En 2006, la línea de investigación continuó con un nuevo proyecto desarrollado por el Grupo de Construcción de la Universidad de Cantabria, titulado: “El desarrollo de nueva captación, tratamiento previo y sistemas de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos procedentes de la escorrentía superficial de áreas de estacionamiento con pavimentos impermeables”. En esta investigación **se centraron en el diseño de un sistema compacto** que puede ser instalado en aparcamientos con pavimentos impermeables, proporcionando un tratamiento para la escorrentía contaminada debido a sólidos en suspensión e hidrocarburos. Para llevar a cabo este proyecto, se hizo una revisión bibliográfica de los principales contaminantes que se esperan de la escorrentía.

Los autores analizaron varios estudios previos a nivel mundial sobre los principales contaminantes bajo diferentes usos.

El prototipo, como se ve en la **Figura 6**, se compone de una estructura acrílica que **se divide en tres cámaras**. El agua entra en el sistema a través de la primera, pasa a través de la segunda cámara de decantación, donde se decantan las partículas sólidas y luego fluye a través de un filtro para entrar en la tercera cámara donde están los sistemas de drenaje. Se estudió la eficiencia del sistema en el tratamiento de los contaminantes, alcanzando tasas de reducción cercanas al 90%. Llegaron a la conclusión de que los factores que influyen en la eficacia del tratamiento de sólidos en suspensión son la entrada y el número de capas de geotextil en el filtro, ambos factores con una importancia similar.

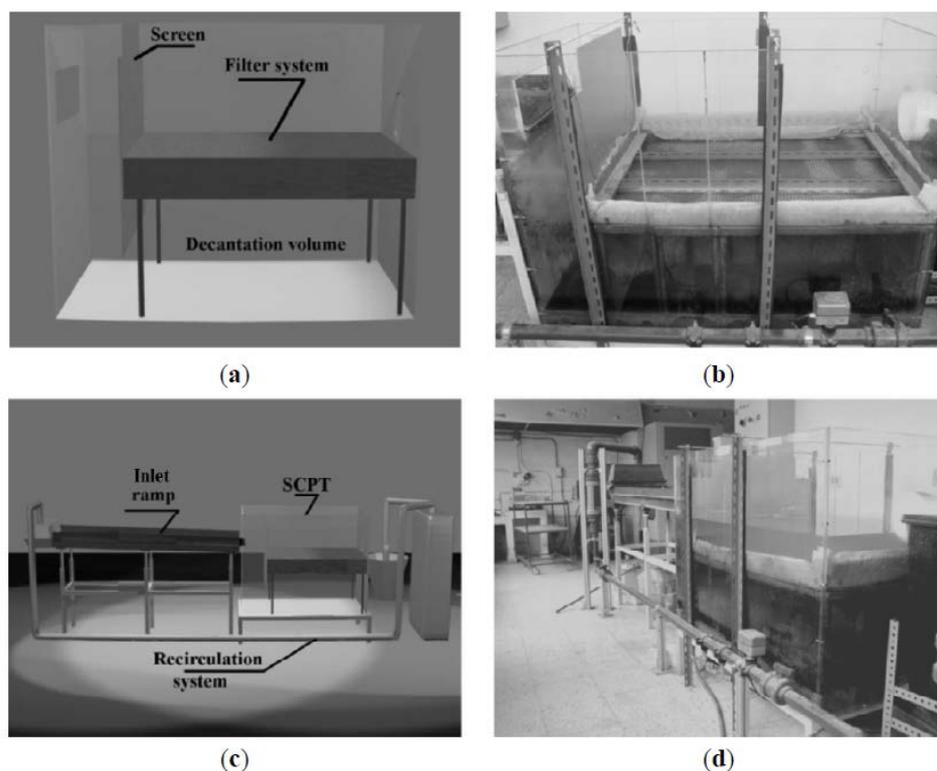


Figura 6. Detalle del prototipo. Fuente: Grupo de Investigación GITECO.

En 2006, el grupo GITECO, llevó a cabo otro proyecto de investigación, titulado: "El diseño, la investigación y la instrumentación de un aparcamiento construido con pavimentos permeables". En este proyecto, se construyó en el parque de "La Vaguada de las Llamas" en Santander (Figura 7 y 8) una zona experimental de 45 plazas de aparcamientos de coches al aire libre. Los objetivos del proyecto fueron: por un lado, estudiar el comportamiento de los diferentes tipos de pavimentos permeables en condiciones reales. Se utilizaron diferentes superficies: hierba reforzada con celdas de hormigón, hierba reforzada con celdas de plástico, asfalto poroso, hormigón poroso y bloques de hormigón impermeables con juntas permeables. Por otro lado, vieron la influencia y el rendimiento de varios geotextiles en relación con la cantidad y la calidad del agua. Se centraron en la capacidad de los geotextiles para apoyar al biofilm que degrada los hidrocarburos y evitan la evaporación del agua almacenada.

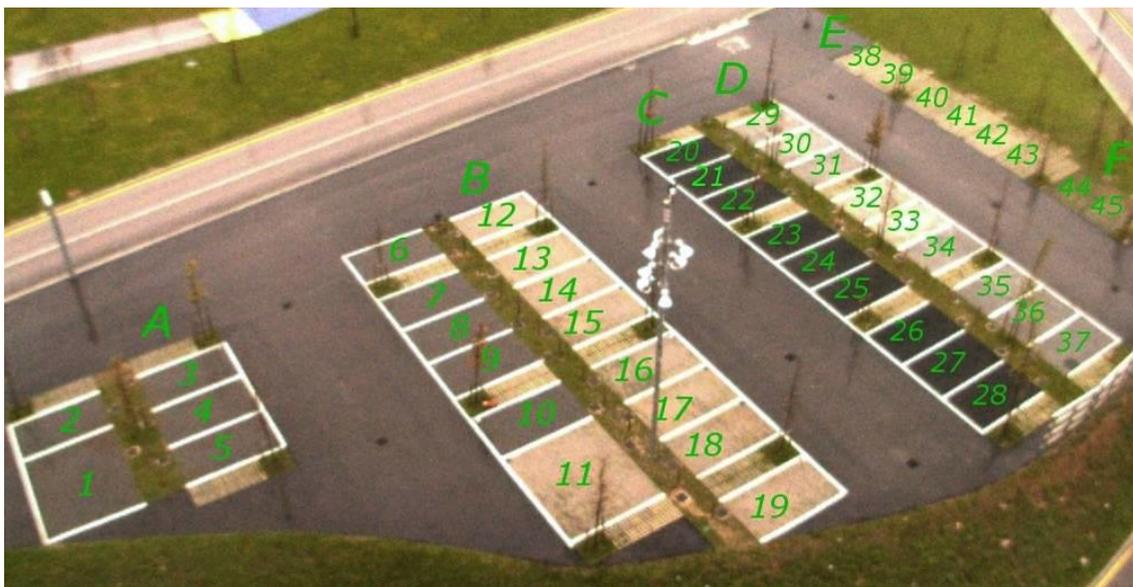


Figura 7. Imagen del aparcamiento en “La Vaguada de las Llamas”. Fuente: Grupo de investigación GITECO.

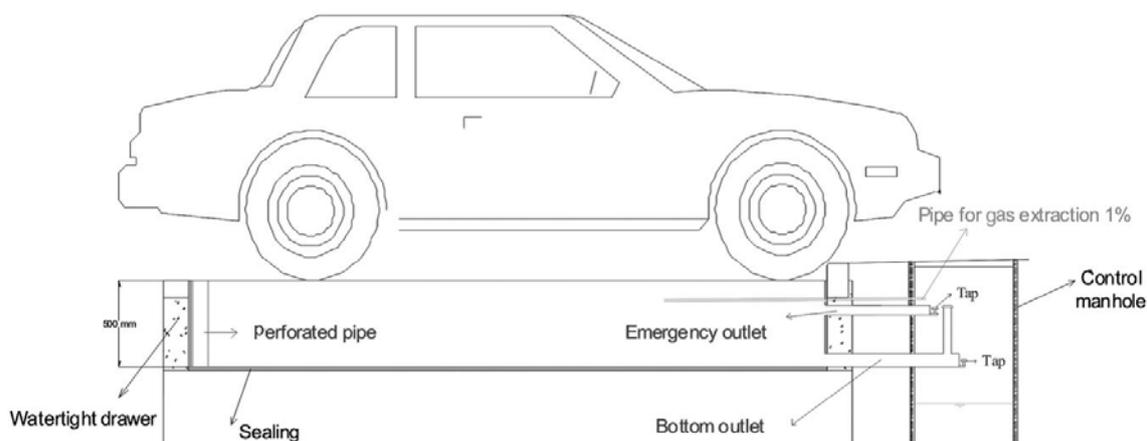


Figura 8. Sección transversal del Aparcamiento de las Llamas. Fuente: Grupo de investigación GITECO.

En 2007, los investigadores comenzaron el proyecto “Diseño, control y seguimiento de un sistema lineal de drenaje sostenible”.

En particular, **se estudia la eficacia en la reducción de contaminantes** de sistemas de drenaje sostenibles como: **una franja filtrante y una cuneta verde** en contraposición a las zanjas de hormigón convencional.

En 2012, Andrés-Valeri concluyó que la calidad del agua de salida de los sistemas sostenibles es significativamente mejor que en una zanja de hormigón convencional, destacando la zanja filtrante que proporciona una mejor reducción de contaminantes.

En 2011, analizaron la función del aparcamiento experimental en el tratamiento de la cantidad de escorrentía, **concluyeron que las superficies podían agruparse en tres grupos** diferentes con propiedades similares: abierto, cerrado y verdes. Además, también descubrieron que la influencia de la superficie sobre la capacidad de infiltración es mayor que la del geotextil y que este tipo de sistema puede ser muy útil en el almacenamiento temporal de agua.

Posteriormente **analizaron los resultados** de los diferentes parámetros de calidad del agua almacenada en los estacionamientos, demostrándose, que **después de un año de almacenamiento, según la legislación española, la calidad del agua es suficientemente buena para ser utilizada en el riego** de zonas verdes o la limpieza viaria.

En 2008, se discute la aplicabilidad de las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenibles (TEDUS) en el manejo de la escorrentía urbana, destacando la necesidad de incorporarlas en los planes maestros de urbanización para que puedan proporcionar un control eficaz de la escorrentía, tanto en términos de calidad como de cantidad. **En Novatech 2010, se presentó los resultados de un estudio de la calidad del agua de salida de una zanja de infiltración**, construida en Barcelona, y la compararon con la calidad del agua que entra en ella. Tomaron nota y vieron que las **tasas de reducción de la contaminación eran cercanas al 70%** para el conjunto de contaminantes estudiados que se ve en la **Figura 9**.

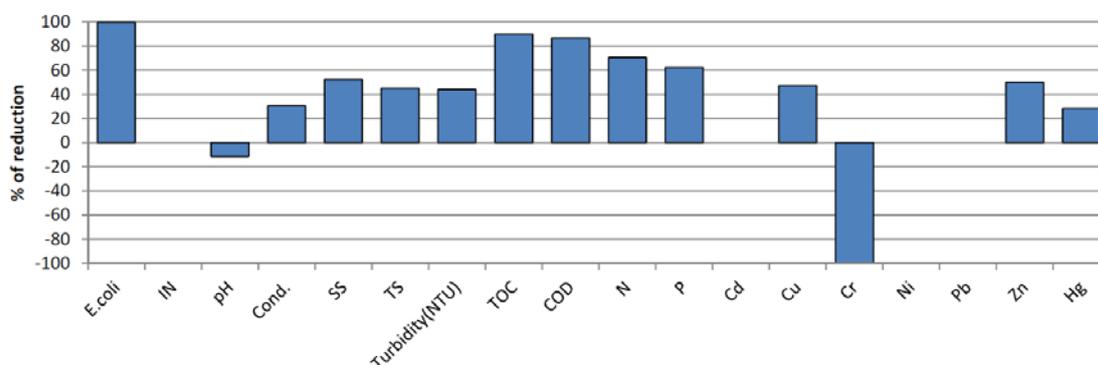


Figura 9. Tabla de porcentajes de reducción de contaminantes. Fuente: Novatech

En 2008 y 2009 el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (**CEDEX**) **publicó los dos manuales principales de referencia en España sobre SUDS** y drenaje de aguas pluviales de carreteras: “Gestión de Aguas Pluviales: Implicaciones para el diseño de saneamiento y drenaje urbano” y “Guía Técnica para el diseño y gestión de los estanques y otros sistemas de retención de contaminantes en las carreteras”.

También **en 2009 la Universidad de Cantabria comenzó otro** proyecto relacionado con pavimentos permeables, “Diseño, control y seguimiento de los pavimentos porosos construidos con escoria y residuos de acero”, que se encuentra **todavía en proceso**. El objetivo de este proyecto es evaluar la adecuación del uso de materiales reciclados en las capas granulares de pavimentos permeables.

Más tarde en 2010, el proyecto “Desarrollo de sistemas de captación de agua de lluvia, utilizando pavimentos porosos en los estacionamientos, para uso no potable con energía geotérmica de baja entalpía (VEA)” **se inicia en la Universidad de Cantabria**.

Este proyecto plantea la posibilidad de usar el agua de lluvia almacenada a través del uso de pavimentos permeables de dos formas diferentes. Por un lado, el agua se puede utilizar **para riego** de parques y jardines, limpieza de calles y usos recreativos. Por otro lado, el agua almacenada proporciona **explotación geotérmica** para la climatización de los edificios cercanos. Para lograr el objetivo del proyecto VEA, se desarrolló un sistema para capturar y almacenar agua. También **se analizaron los efectos de la obstrucción (Figura 10)**.

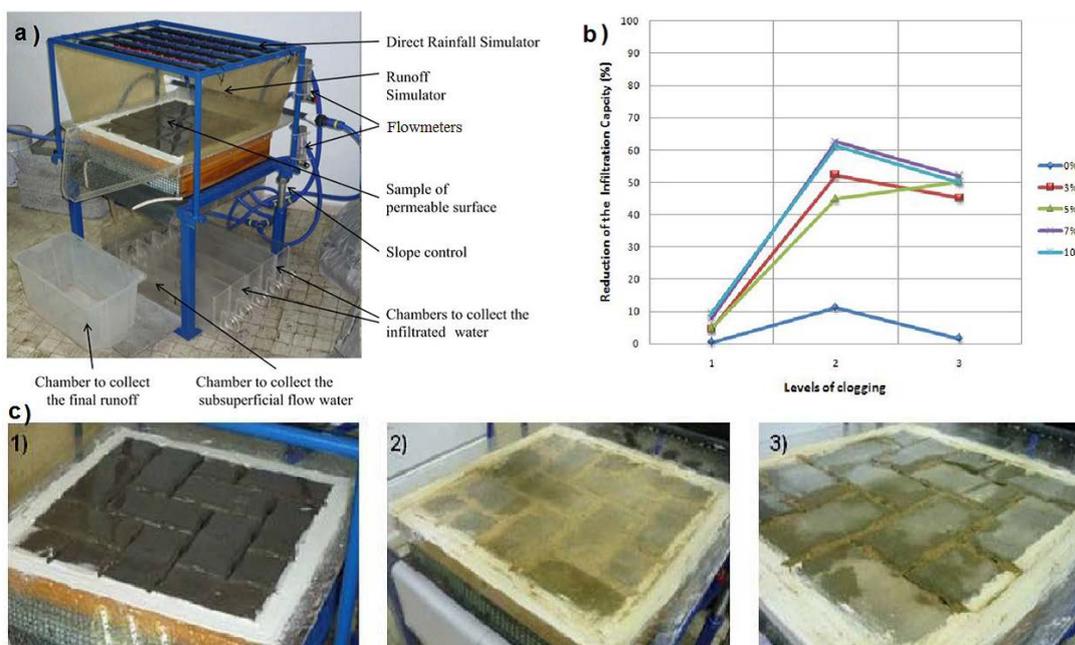


Figura 10. Capacidad de infiltración según el grado de obstrucción. Fuente: Grupo de investigación GITECO.

Siguiendo esta línea, en 2012, CETAQUA y CLABSA comenzaron a trabajar en una experiencia I+D, centrándose en tres zanjas de drenaje, una zanja de infiltración, un área de infiltración y un pozo de infiltración en Barcelona. Se utilizan técnicas de infiltración debido a la naturaleza del suelo de la ciudad, la mayoría de estas técnicas se utilizan en zonas periurbanas o áreas de obra nueva en zonas urbanas.

Con este telón de fondo, **los principales retos para el futuro son:** demostrar el **balance económico positivo** de SUDS en España, la adaptación de **SUDS en diferentes climas** de España, por ejemplo, comparando el clima Atlántico con el Mediterráneo y la realización de **Rehabilitación Urbana Hidrológica:** usando SUDS y desarrollando ciudades permeables.

2.4 Aplicación de SUDS en España

Según Daniel Castro [Castro-Fresno. 2013], la primera aplicación sería de técnicas de drenaje sostenibles en España se lleva a cabo en el año 2003, cuando el Ayuntamiento de Madrid aplica tecnología y criterios de la empresa Atlantis en las obras de remodelación del Parque Gomeznarro. Se reemplazaron las carreteras convencionales y suelos impermeables con pavimentos permeables con el fin de controlar la escorrentía y reutilizar el agua para el riego de las zonas adyacentes.

En Barcelona, la primera aplicación comenzó dos años más tarde que en Madrid. En 2005, se comenzaron a elaborar proyectos como el Parque del Torrente de las Monjas y el barrio de Torre Baró, los cuales fueron acabados en el año 2008.

Más tarde, en 2009, se terminaron las obras en el Área de Conocimiento de Robert Soto de BAGURSA, donde utilizaron en una avenida bastante relevante zanjas de infiltración.

En San Sebastián, también se realizaron algunas aplicaciones SUDS, con el trabajo de remodelación del parque de Cristina Enea en el año 2007 o las del parque Ametzagaina. En 2010 se completaron varias obras que incluían sistemas de drenaje sostenibles en la ciudad.

La aplicación efectiva de SUDS en España está todavía en sus primeras etapas, pero las acciones llevadas a cabo en ciudades como Madrid, Barcelona, San Sebastián, Santander, Gijón, Oleiros, Xátiva y Benaguasil son destacables.

La entrada en la Unión Europea de estas técnicas y sistemas, marcaron un punto de inflexión en España, que han provocado un gran esfuerzo en los últimos 20 años para llevar a cabo estos proyectos. Destacar en la legislación española la Directiva Marco del Agua, la cual contempla y regula los conceptos de regeneración del agua, control de las inundaciones y la gestión de las aguas pluviales a través de la aplicación de sistemas innovadores que aumenten la permeabilidad del suelo.

2.5 Nomenclatura y Tipologías de Técnicas de Drenaje Sostenibles

Según Daniel Castro, Sara Perales y Ana Abellán [Castro-Fresno. 2008], [Perales. 2008] y [Abellán. 2015], los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son conocidos con numerosas denominaciones en los diferentes países donde son empleados. Se pueden ver las siguientes siglas:

- SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems)
- BMPs (Best Management Practices)
- MPC (Mejores Prácticas de Control)
- BPAs (Buenas Prácticas Ambientales)
- TEDUS (Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible)
- LID (Low Impact Development)
- WSUD (Water Sensitive Urban Design)
- DUSA (Diseño Urbano Sensible al Agua)

En España, se decide tomar como nombre las siglas empleadas en el Reino Unido “SUDS”. Esta nomenclatura común facilita la búsqueda y el intercambio de información dada la experiencia en estos sistemas que tienen los expertos británicos.

Dentro de los SUDS hay múltiples clasificaciones de las diferentes técnicas de drenaje, dependiendo de su forma de funcionar, del tipo de sistema empleado o del lugar de aplicación. **De manera general se clasifican en medidas estructurales y no estructurales.** Las medidas no estructurales o preventivas son aquellas que no precisan ni actuación directa sobre la red, ni la construcción de ningún tipo de infraestructura. En cambio, las medidas estructurales se consideran aquellas que gestionan la escorrentía mediante actuaciones que contienen algún tipo de elemento constructivo o suponen la adopción de criterios urbanísticos.

A su vez, estas **medidas estructurales se clasifican en sistemas de control en origen o de infiltración, sistemas de transporte y sistemas de tratamiento pasivo.**

Los **sistemas de control en origen** son aquellos que interceptan de manera directa el agua de lluvia y permiten su infiltración superficial. Además de poder estar conectados a otros sistemas, pueden por si mismos cerrar el ciclo del agua conectando la superficie con el sustrato permeable. **Estos sistemas son: superficies permeables, pozos, zanjas y depósitos de infiltración.** Las superficies permeables permiten incorporar en el diseño el almacenamiento o reutilización de las aguas o la infiltración a los acuíferos naturales.

Los pozos o zanjas de infiltración son depósitos subterráneos que recogen y almacenan el agua de escorrentía hasta que se infiltra al terreno natural, pueden incorporar vegetación ofreciendo una visión estética importante en la ciudad. Los depósitos de infiltración son zonas de embalse superficial, donde se almacena el agua hasta que se produce su infiltración, soliendo ser habituales en zonas verdes deprimidas.



Figura 11: Imágenes de hormigón permeable y zanja de infiltración. Fuente: Ana Abellán

Los **sistemas de transporte** se tratan de dispositivos cuya misión es transportar el agua de lluvia hacia otros sistemas de tratamiento mayor o a lugares de vertido correspondiente, aportando en su camino una serie de ventajas. **Estos sistemas son: cunetas verdes, franjas y drenes filtrantes.** Se tratan de sistemas de tipo lineal y que como tales suelen colocarse en zonas laterales de caminos, siendo ellos mismos, en algunos casos, los puntos de recogida del agua de escorrentía para su transporte al siguiente sistema de gestión. Los drenes filtrantes están constituidos por un volumen de relleno permeable que permiten la filtración del agua que lo atraviesa. Es un sistema muy similar a la zanja de infiltración, pero su misión no es la de filtrar el agua sino la de transportarla a otro sistema. Los drenes pueden contar con diferentes tipos de superficies según el acabado de la zona urbana. Las cunetas verdes son canales naturalizados que permiten la recogida y transporte de las aguas de lluvia. Sus acabados superficiales son también muy variados, desde cantos rodados hasta vegetación de ribera, pasando por el césped. No suelen ser utilizados en entornos urbanos muy consolidados debido a su gran ocupación superficial, sin embargo, son apropiados para zonas residenciales y de travesía debido a su valor estético. Las franjas filtrantes son áreas vegetadas con capacidad de tratar la escorrentía superficial mediante procesos químicos, físicos y biológicos a través de la vegetación. Son muy aplicadas en zonas agrícolas, en márgenes o calzadas como trayecto de entrada a una cuneta verde.



Figura 12. Imágenes de drenes franceses y cuneta verde. Fuente: Ana Abellán

Los **sistemas de tratamiento pasivo** son aquellos situados al final de la red para prolongar la estancia de las aguas pluviales por un periodo de tiempo, antes de su vertido al medio receptor. **Estos sistemas son: depósitos de detención, estanques de retención y humedales artificiales.**

Son elementos que necesitan una amplia ocupación de espacio para poder realizar los tratamientos correspondientes. Se suelen localizar en parques y bosques, posibilitando de esta manera la generación de paisajes urbanos naturalizados por la presencia del agua y la vegetación. Los depósitos de detención son áreas de depresión vegetadas cuya misión es la de proporcionar una laminación de las puntas de caudal para posteriormente tratar el volumen captado de la manera más conveniente. Es lo más parecido a un tanque de tormentas utilizados en los sistemas de drenaje convencionales. Estos depósitos permiten mejorar la calidad del agua a través de retención de sedimentos. Por otro lado, los estanques de retención son zonas de almacenamiento de agua con una lámina de agua permanente y presencia de vegetación tanto acuática como enraizada. Proporcionan un tratamiento completo para las aguas de escorrentía urbana, incluso de tipo biológico, mediante la degradación de contaminantes y la fijación de metales pesados, sin embargo, tienen limitaciones en cuanto a volúmenes a tratar. Por último, los humedales artificiales, son áreas de tierra cubierta de vegetación que puede estar ocasional o permanentemente llenas de agua con distintas profundidades. Los humedales son el hábitat de una gran diversidad de plantas y animales. Comprenden estanques y lagos poco profundos en combinación con zonas pantanosas cubiertas por vegetación acuática. Este sistema es la alternativa natural a las depuradoras artificiales, encargadas actualmente del tratamiento de las aguas de lluvia.



Figura 13. Imágenes de estanque de retención y humedal artificial. Fuente: Ana Abellán

Teniendo en cuenta la cantidad de sistemas diferentes que se pueden emplear a la hora de tratar y mejorar la gestión de las aguas pluviales en zonas urbanas y periurbanas, es necesario que en la fase de planeamiento el urbanismo tenga una labor fundamental a la hora de proyectar ciudad para evitar cargar de forma excesiva las líneas de drenaje convencionales.

Además la gestión sostenible del agua permite otros valores añadidos, además de solucionar los problemas ya citados, como recuperar los espacios naturales para la ciudadanía o recargar los acuíferos naturales.

Según Ana Abellán y Daniel Castro [Abellán. 2015] y [Castro-Fresno. 2008], se establece la siguiente clasificación detallada:

- No estructurales:
 - Legislación
 - Educación y participación ciudadana
 - Limpieza y mantenimiento
 - Programación Económica
- Estructurales:
 - Sistemas de control en origen
 - Superficies permeables
 - Pavimentos permeables
 - Cubiertas Vegetales: extensivas, intensivas e intensiva simple
 - Pozos de infiltración
 - Zanjas de infiltración
 - Depósitos de infiltración
 - Áreas de biorretención
 - Filtros de arena
 - Sistemas de transporte
 - Drenes filtrantes o franceses
 - Cunetas Verdes
 - Franjas Filtrantes
 - Sistemas de almacenaje y tratamiento pasivo
 - Depósitos de lluvia
 - Depósitos de detención: enterrados y superficiales
 - Estanques de retención
 - Humedales artificiales



Figura 14: Cadena de Gestión del Agua.

Fuente: Sara Perales Momparler.

A continuación vamos a definir, ordenadamente según el esquema, cada uno de los sistemas estructurales de manera detallada, así como algunas características técnicas, usos típicos, requisitos de mantenimiento, rendimiento, ventajas, desventajas y las últimas investigaciones sobre ellos que se estén llevando a cabo en la actualidad.

2.5.1 Sistemas de Control

Pavimentos permeables

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son pavimentos, continuos o modulares, que dejan pasar el agua a través de ellos. Permiten que ésta se infiltre por el terreno o sea captada y retenida en capas subsuperficiales para su posterior reutilización o evacuación.

Si el firme se compone de varias capas, todas ellas han de tener permeabilidades crecientes desde la superficie hacia el subsuelo. El agua atraviesa la superficie permeable, que actúa a modo de filtro, hasta la capa inferior que sirve de reserva, atenuando de esta forma las puntas del flujo de escorrentía superficial. El agua que permanece en esa reserva puede ser transportada a otro lugar o infiltrada, si el terreno lo permite.

Además las distintas capas permeables retienen partículas de diversos tamaños, aceites y grasas (incluso algunos hidrocarburos retenidos pueden llegar a ser biodegradados).

Existen diversas tipologías de superficies permeables, entre ellas están: Pavimentos continuos de cualquier tipo de mezcla porosa (asfalto, hormigón, resinas, etc.), césped, césped reforzado, gravas, bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosas, pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno o pavimento de bloques porosos, se pueden ver algunos en la **Figura 15**. Estos últimos, también denominados pavimentos modulares, se componen de 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 pueden rellenarse con tierra o césped.



Figura 15. Diferentes tipos de pavimentos permeables. Fuente: William.

Este tipo de técnica de drenaje urbano sostenible puede utilizarse para áreas drenantes inferiores a 4 hectáreas con pendientes inferiores al 2-5%. La distancia hasta el nivel freático ha de ser superior a los 1,2 metros y la capacidad de infiltración del suelo de 1,2 mm/hora o mayor.

El exceso de agua se controla mediante un desagüe diseñado con dicho objetivo. La misión de los geotextiles en este tipo de pavimentos es primordial puesto que actúan como filtro, separación o como refuerzo estructural.

Estos pavimentos permeables se emplean en zonas con baja intensidad de tráfico, calles residenciales o zonas de aparcamiento, no estando recomendados en zonas industriales, gasolineras o lugares en los que se acumulan cantidades de metales pesados importantes.

Usos típicos:

- En parkings, aceras y calzadas con poco tráfico
- Gestión de la calidad del agua de escorrentía urbana, son capaces de retener una alta gama de contaminantes.

Ventajas/beneficios:

- Reducen los picos de caudal disminuyendo el riesgo de inundación aguas abajo.
- Reducción de los efectos de la contaminación en el agua de escorrentía.
- Pueden ser usados en zonas de alta densidad poblacional.
- Reducción de la necesidad de realizar excavaciones profundas para colocación de sistemas de drenaje convencionales, lo que abarata costes.
- Gran flexibilidad en diseño y tipos.
- Se pueden usar como parte de un sistema en línea en aquellos lugares donde la infiltración del agua puede conllevar problemas.
- Permiten un doble uso del espacio, por lo que no es significativa su ocupación en suelo.
- Reducen o eliminan la presencia de imbornales y colectores.
- Eliminan el encharcamiento superficial.
- Son resistentes a la falta de mantenimiento.
- Con buena aceptabilidad por parte de la comunidad.

Desventajas y limitaciones:

- No pueden utilizarse donde haya arrastre superficial de grandes cargas de sedimentos.
- Por ahora no se usan en carreteras con tráfico elevado.
- A largo plazo, si no hay mantenimiento, existe riesgo de crecimiento de malas hierbas y de obstrucciones.

Requisitos de mantenimiento:

- El mantenimiento depende del tipo de superficie permeable, aunque hay algunas pautas generales:
 - Barrido frecuente.
 - Los elementos que se eliminan de capas más profundas como hidrocarburos o metales pesados han de seguir un tratamiento especial.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: BUENO
- Reducción de volumen: BUENO
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: BAJO
- Potencial ecológico: BAJO

Según William [William, 2008], se han llevado a cabo numerosas investigaciones en Estados Unidos y en otros países, entre ellos España, sobre los pavimentos permeables. Se han centrado fundamentalmente en cuatro áreas: reducción de la escorrentía, obstrucción, hidrología a largo plazo y calidad del agua.

Es fundamental distinguir entre tres términos que pueden confundir, como son: permeable, penetrable y poroso. Los tres conceptos se utilizan para describir el pavimento que permite que el agua fluya a través del material pero solo dos de estas palabras son sinónimos: penetrable y permeable. Ambos significan que el agua puede fluir a través del material por una serie de poros y orificios conectados. El término poroso no significa necesariamente que los agujeros del material estén conectados y por tanto fluya el agua a través de él.

Según NCDENR, permeable es el término preferido, ya que muchas empresas e industria del pavimento utiliza el concepto poroso, dando lugar a confusión.

Casi todos los tipos de pavimentos permeables tienen la misma estructura general, **Figura 16 y Figura 17**.

- **Capa de superficie:** Es el pavimento en sí, lo que los usuarios ven. Se identifica con el tipo de pavimento utilizado como el hormigón, los adoquines o la hierba.
- **Base de grava:** la mayoría de los tipos de pavimento, con excepción del hormigón permeable, necesitan grava como capa de soporte. Esta capa está justo debajo de la capa de superficie. A pesar de que el hormigón permeable no necesite esta capa base como soporte estructural, se le suele incluir en el diseño para que el agua se pueda almacenar.
- **Sub-base:** es la capa del suelo que se encuentra inmediatamente debajo de la base de grava y se suele compactar durante la construcción.
- **Drenes franceses:** son tubos de plástico pequeños, de 4 a 8 pulgadas de diámetro. Estos tubos se encuentran en la parte inferior de la base de grava, donde recoge el agua y la transporta.

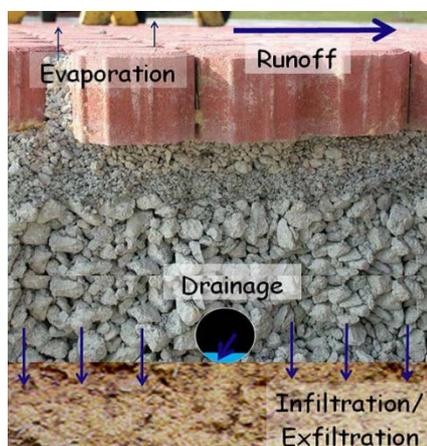


Figura 16: Sección tipo.

Fuente: William.

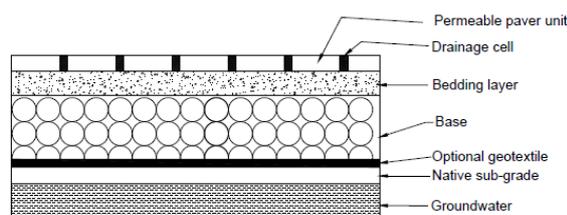


Figura 17: Sección tipo de pavimento permeable.

Fuente: Miklas.

Hay varios factores a considerar en el **diseño** e instalación de pavimento permeable en suelos arcillosos y en suelos arenosos.

Los suelos arcillosos no proporcionan un buen apoyo estructural como los suelos arenosos. Esto significa que la capa de grava que subyace a casi todos los tipos de pavimento tiene que ser más profunda para pavimentos arcillosos que en suelos arenosos para proporcionar resistencia al pavimento.

Los suelos arcillosos no permiten tanta infiltración como los suelos arenosos. La compactación necesaria puede limitar severamente la infiltración de la sub-base. Esto obligaría a utilizar drenes que permitan filtrar la capa base de grava. A veces se necesita un revestimiento impermeable para separar la base de la sub-base si la arcilla subyacente tiene un alto potencial de contracción.

La cantidad de **escorrentía superficial** generada depende sobre todo de la intensidad de la lluvia. Por tanto las tormentas de baja intensidad con una larga duración, son menos propensos a producir escorrentía superficial en estos tipos de pavimento.

Según diversos estudios realizados en Carolina del Norte, no se observó una diferencia sustancial en la capacidad de infiltración de agua para distintos tipos de pavimentos permeables. En general, tienen una capacidad de infiltración parecida.

Un problema importante dentro de estos sistemas es la **obstrucción**. Los pavimentos permeables, de manera general, se obstruyen. La obstrucción no siempre quiere decir sellado. Suele ser el resultado del desgaste de la superficie del pavimento o el transporte de partículas debido al viento o a las escorrentías.

El aumento del uso e intensidad del pavimento permeable a lo largo de los años hace que la obstrucción del pavimento sea mayor. Hay dos factores que hacen que el grado de obstrucción sea mejor o peor: la frecuencia de mantenimiento y el tipo de suelo que rodea al pavimento permeable.

La obstrucción es un proceso continuo que no se puede evitar, pero si se puede restringir con un mantenimiento regular. Varios investigadores recomiendan el uso de barredoras mecánicas o manuales, que pueden limpiar la superficie de manera óptima. Teniendo un mantenimiento adecuado las tasas de infiltración pueden mejorar hasta un 66%.

En cuanto a **calidad del agua**, se ha demostrado la eficacia de los pavimentos permeables para eliminar concentraciones de contaminantes como: metales pesados, aceites de motor, sedimentos, nutrientes... etc. Las tasas de eliminación de contaminantes dependen del material utilizado y del material de la sub-base así como el espacio vacío de la superficie.

Además también se ha demostrado que pueden producir una reducción térmica en comparación con el asfalto convencional.

Según Miklas Scholz [Scholz, 2007], los hidrocarburos, el plomo y el cobre muestran las concentraciones más altas de contaminantes. Los hidrocarburos deben ser eliminados ya que son un riesgo grave tanto para el suelo como para los acuíferos, muchos de ellos son absorbidos por sólidos en suspensión. Los resultados demostraron exitosamente que pueden retener hidrocarburos ya que los pavimentos permeables son poderosos biorreactores in situ, gracias a la ayuda del biofilm donde se desarrollan complejas composiciones microbianas. La biodegradación se ve reforzada por las bacterias y los hongos, teniendo la capacidad de degradar grandes cantidades de aceite de motor.

La **vida útil** depende del tamaño de los huecos de aire que se comunican entre sí. Se puede esperar que la vida útil con respecto a un pavimento convencional sea menor debido al deterioro de la escorrentía, la infiltración de aire y la erosión. Sin embargo, después de diversos estudios y evaluaciones, se ha comprobado que no muestran signos importantes de desgaste.

Según Benjamin [Brattebo, 2003], se realizó un estudio, en una zona de aparcamientos a aire libre, sobre la eficiencia de pavimentos permeables a largo plazo (6 años), donde se evaluó la capacidad de infiltración, la calidad del agua y la durabilidad estructural.

En cuanto a este último punto, se observó que el desgaste de los pavimentos permeables era despreciable, solamente se apreció en el pavimento de rejillas de plástico con arena y hierba, que la rejilla se había levantado en la parte trasera del aparcamiento de los coches.

En el resto de datos analizado en cuanto a calidad de agua e infiltración se obtuvieron datos muy parecidos a lo expuesto anteriormente, por lo que se puede concluir que este tipo de pavimentos a largo plazo funcionan bien, con datos muy positivos en cuanto a infiltración y calidad del agua en comparación con superficies convencionales.

Por otro parte, se está desarrollando un **sistema de calefacción/refrigeración**, que podría instalarse dentro de la sub-base del pavimento permeable. La energía obtenida por debajo del suelo podría utilizarse para calentar o enfriar edificios.

Según Miklas Scholz [Scholz, 2013], poco se ha investigado acerca de los beneficios en la **calidad del agua incorporando un geotextil** dentro de la estructura de un pavimento permeable. Se evaluó críticamente los resultados de pruebas internacionales y se sacó conclusiones sobre el rigor científico y la importancia de los datos. Todo apunta a que la presencia de un geotextil conduce sólo a pequeñas mejoras de la calidad del agua. Por ejemplo, los sólidos en suspensión son frenados por los geotextiles y estos sólidos a su vez contienen restos de materia orgánica, nutrientes y metales pesados. Sin embargo la mayoría de los estudios no han sido concluyentes. Se recomienda más investigación a largo plazo sobre este tema.

Según la Agencia de Protección del Medio Escocesa (SEPA), para los nuevos desarrollos, el agua debe drenar a través de superficies permeables que formen parte de un SUDS y si se descargan en el medioambiente deben tomarse medidas razonables para asegurar que la descarga no da lugar a contaminación de las aguas. El uso de sistemas de pavimentos permeables con un geotextil cumple este requisito cuando hay un único nivel de tratamiento, por ejemplo en pequeños desarrollos de viviendas.

Pero para situaciones como en sitios comerciales, SEPA considera que se requieren dos niveles de tratamiento, mediante una sub-base de grava debajo del pavimentos y un geotextil. Esto supone que la sub-base debe tener una profundidad adecuada para permitir la filtración.

SEPA trabaja en la hipótesis de que la presencia de cualquier geotextil dentro de un sistema de pavimentos permeable estándar tiene una función de mejora de la calidad del agua. Sin embargo no hay evidencia científica.

Los **geotextiles** se pueden caracterizar en **tejidos o no tejidos**. Dentro de los tejidos podemos a su vez encontrar cuatro tipos diferentes: monofilamento, película de hendidura, multifilamento y fibrilada. La mayoría de los geotextiles tejidos no son apropiados para las aplicaciones de drenaje y filtración.

En cambio, los geotextiles no tejidos, son los mejores para su uso en pavimentos permeables, ya que tienen mejores propiedades de filtración, drenaje y separación. Dentro de los no tejidos hay tres categorías: punzonados, químicos o unidos por calor.

Los geotextiles se pueden utilizar para la capa de separación y el fortalecimiento en nuevas carreteras y aparcamiento, y como filtro en ciertas aplicaciones SUDS, incluyendo pavimentos permeables y zanjas de infiltración. Además permiten la biodegradación microbiana.

La función de los geotextiles se dividen en cinco categorías principales: separación, filtración, drenaje, protección y refuerzo. La capacidad de un geotextil para retener finos depende del tamaño de las aberturas.

En los pavimentos permeables, los geotextiles normalmente se colocan o en el nivel superior de separación entre la capa de asiento y la sub-base o en el nivel inferior que separa la sub-base de la sub-rasante.

Cinco equipos de laboratorios, cada uno con diferentes rellenos de juntas, mostraron altas capacidades de retención para todos los metales. La presencia de un geotextil superior es importante en la retención de aceites.

Los geotextiles que incorporan nutrientes inorgánicos para mejorar el crecimiento de microorganismos que degradan hidrocarburos han demostrado ser eficaces. La formación de biopelículas sobre la capa de geotextil mejora la calidad del agua debido a la biodegradación de contaminantes tales como aceites.

Cubiertas Vegetales

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], las cubiertas vegetadas o Green-roof están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Estructuralmente consisten en un sistema multicapa colocado sobre los tejados de los edificios sobre el que se favorece el crecimiento de vegetación. Este sistema, además retiene contaminantes, actúa como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto “isla de calor” que se produce en las ciudades.

Tal y como se puede ver en la **Figura 18**, las cubiertas vegetadas incluyen terrazas, tejados y balcones tanto de uso público como privado y pueden tener o no acceso directo a ellas. Algunas inclusive sirven de espacio lúdico.



Figura 18: Ejemplo de cubiertas vegetales extensivas.

Fuente: Ana Abellán.

Existen varias categorías de cubiertas vegetadas:

-Extensivas: Tienen un suelo delgado y un escaso o ningún requerimiento de riego, el agua de retención es escasa y los nutrientes limitados.

-Intensivas: Son suelos más profundos, con requerimientos de riego, bastante agua de retención y proporcionan unas condiciones fértiles para las plantas.

-Intensiva simple: Se construye usando varios sustratos en profundidad y combinando características de los tipos intensivas y extensivas.

El tipo de diseño de cubierta vegetada determinará las clases de plantas que pueden crecer, la posibilidad de acceso público, las consideraciones estructurales, el mantenimiento requerido y los costes.

El desarrollo de las cubiertas vegetadas requiere al menos de cuatro componentes:

1. **Barrera de raíces.** Impide que las raíces puedan penetrar a través de la membrana impermeable dañándola. Esta barrera puede ser un biocida o una espesa capa de polietileno.

2. **La capa de drenaje.** Su función es controlar el agua de retención del tejado y sus propiedades en combinación con el sustrato. Puede estar compuesta de varios tipos de materiales granulares, como arenas, gravas, material volcánico, o elementos modulares/sistemas laminares.

3. El **sustrato** o medio de crecimiento. Es el espacio físico, dotado de una estructura porosa, con nutrientes, composición química y propiedades de drenaje necesarios para el crecimiento de las plantas escogidas.

4. La **capa de vegetación.** Habrá que escoger la especie más adecuada en función de la climatología. Puede ser plantada artificialmente, mediante semillas, esquejes o por colonización natural.

Usos típicos:

- Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales/industriales.
- Se pueden establecer en tejados para darles un uso recreativo.
- Además de gestionar la escorrentía sirven como aislante térmico.

Ventajas/beneficios:

- Imitan el estado hidrológico inicial antes de la impermeabilización asociada al desarrollo urbanístico.
- Tienen una alta capacidad de eliminación de los contaminantes atmosféricos urbanos depositados, así que mejoran la calidad del aire.
- Pueden ayudar en el control de la contaminación acústica (la vegetación absorbe el ruido).
- Reducen la expansión y contracción de las membranas de techo.
- Suponen una mejora estética del edificio.
- No ocupan un espacio "per se", están sobre construcciones ya realizadas.
- Pueden ser usados como espacios verdes.
- Ayudan a gestionar los impactos de la isla de calor urbano.
- Aíslan térmicamente los edificios frente a temperaturas extremas.

Desventajas y limitaciones:

- Caro en comparación con los tejados convencionales
- No es apropiado en tejados inclinados.
- La estructura de la azotea puede limitar la adaptación de las cubiertas vegetadas.
- Se requiere de un mantenimiento de la vegetación.
- En climas mediterráneos requiere de un mayor cuidado y de un aporte adicional de agua.

Requisitos de mantenimiento:

- El riego es necesario durante el establecimiento de la vegetación para algunas cubiertas.
- Hay que inspeccionar regularmente comprobar el estado de la flora y reemplazar las plantas donde sea necesario.
- En algunos casos habrá que retirar residuos, como hojas secas.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: MEDIO
- Reducción de volumen: MEDIO (alto con infiltración)
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: BUENO
- Potencial ecológico: MEDIO

Pozos y Zanjas de infiltración

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son elementos de una profundidad entre 1 a 3 metros rellenos de material granular. En ellos vierte la escorrentía desde las superficies impermeables contiguas y recogen y almacenan el agua mientras se infiltra en el terreno natural.

Los pozos son sistemas subterráneos de almacenamiento temporal de la escorrentía procedente principalmente de tejados y azoteas. Mediante esta técnica se consigue desconectar estas aguas de la red principal, disminuyendo así el caudal a circular por la red de alcantarillado. No pueden utilizarse en suelos poco permeables y es recomendable que queden algo por encima del nivel freático para permitir exfiltraciones al terreno. Como se puede producir la contaminación del suelo en dichas exfiltraciones, se aconseja la colocación de algún tipo de filtro en el conducto que transporta el agua hasta el pozo.

Las zanjas de infiltración son más estrechas y menos profundas que los pozos, ver **Figura 19**, siendo más eficientes desde el punto de vista constructivo. Se utilizan principalmente para el control de la calidad, pero se pueden emplear también como estrategia de control de la cantidad del caudal de escorrentía en zonas residenciales de media-alta densidad y en zonas comerciales. Aunque hay que tener cuidado con el terreno donde se van a instalar, evitándose siempre localizaciones cerca de las cimentaciones de edificios o de carreteras.

El suelo en el que se emplazan estas técnicas ha de tener una capacidad de infiltración superior a 12 mm/h y no ha de tener arcillas que provoquen la colmatación. Trabajan con áreas de pequeñas dimensiones, entorno a las 2 hectáreas. Requieren de un período seco entre tormentas.

La distancia mínima al nivel freático debe ser de 1,2 metros para que puedan producirse las exfiltraciones. Se suelen emplear geotextiles de filtro y separación para envolver el material granular, y desagües de emergencia para, en el supuesto de que se supere la capacidad de depósito de diseño, poder enviar el agua sobrante a la red de alcantarillado.

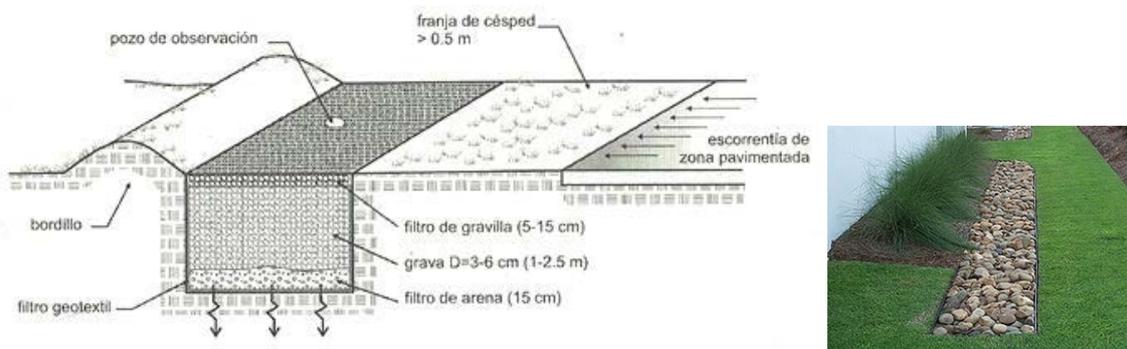


Figura 19: Ejemplo de zanja de infiltración. Fuente: Ana Abellán.

Usos típicos:

- Recogida de agua de zonas adyacentes a caminos, parkings, en zonas residenciales, comerciales e industriales. Las zanjas no pueden ir cerca de estructuras subterráneas de edificios.

Ventajas/beneficios:

- Atenuan de forma significativa el volumen de agua de escorrentía y el caudal pico.
- Se integran fácilmente en el paisaje.

Desventajas y limitaciones

- Se pueden obstruir con facilidad, por lo que no se recomiendan localizarlos en suelos finos (aquellos constituidos por limos o arcillas).
- Las acumulaciones de contaminantes y las obstrucciones son difíciles de ver.
- La tasa histórica de fracaso es alta debida a los mantenimientos deficientes, el mal emplazamiento o la presencia de grandes cantidades de desechos a la entrada.
- Limitados a pequeñas áreas drenantes.

Requisitos de mantenimiento:

- Hay que inspeccionarlas para revisar posibles obstrucciones.
- Retirada de sedimentos.
- Retirada y limpieza de los materiales filtrantes.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: MEDIO
- Reducción de volumen: ALTO
- Tratamiento de calidad de agua: ALTO
- Potencial beneficio social/urbana: BAJO
- Potencial ecológico: BAJO

Depósitos de infiltración

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son depresiones en el terreno o embalses poco profundos que se diseñan para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en las superficies adyacentes, ver **Figura 20**. El objetivo de estos depósitos es la transformación de un flujo superficial en subterráneo, eliminando los contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas. Además de tener capacidad de tratar la contaminación disuelta también tienen capacidad para minimizar los efectos de la contaminación térmica sobre los medios receptores, puesto que la temperatura del agua se temple con el ambiente antes de ser vertida.

Ha de tener forma irregular, con bases anchas y taludes laterales suaves, cubiertas de vegetación. Los desagües inferiores deben ser capaces de desaguar en todo momento para evitar colapsar el sistema.

El rendimiento de estas técnicas se puede mejorar colocando un sistema de pretratamiento que disminuya la entrada de sólidos en suspensión, reduciendo así el riesgo de colmatación de la zona de infiltración.

Para que esta técnica trabaje de forma óptima se recomienda que el área drenante sea inferior a 10 hectáreas, y su ocupación en planta sea entre un 2 y un 3 por ciento de dicha área. No han de instalarse en lugares con pendientes superiores al 15% y el fondo ha de mantenerse de forma horizontal. La diferencia de cotas entre la entrada y de la salida ha de estar en torno a los 90 centímetros. El nivel freático ha de estar a más de 1,2 metros de profundidad. Y el suelo ha de ser muy permeable, con una capacidad de infiltración superior a los 12 mm/hora.



Figura 20: Ejemplos de depósitos de infiltración. Fuente: Ana Abellán.

Usos típicos:

- Gestión de la escorrentía en zonas residenciales de no muy alta densidad donde las aguas no arrastren una carga contaminante importante.

Ventajas/beneficios:

- Reduce notablemente el volumen de escorrentía.
- Puede ser muy eficaz en la eliminación de contaminantes por filtración.
- Contribuye a la recarga de las aguas subterráneas y el aumento del flujo base.
- Sencillo y rentable de construir.
- Las variaciones en su rendimiento son fácilmente visibles.

Desventajas y limitaciones:

- Nivel de fracaso potencialmente alto debido a la inadecuada ubicación, mal diseño o la falta de mantenimiento, especialmente si no se incorpora un pre-tratamiento adecuado.

- Se necesitan de estudios geotécnicos completos para confirmar la idoneidad para la infiltración.
- No son apropiados para el drenaje de zonas donde se concentran altas cargas de contaminantes en las aguas de escorrentía.
- Requieren de un área grande y plana.

Requisitos de mantenimiento:

- Inspecciones periódicas para detectar signos de deterioro en el rendimiento y posibles obturaciones.
- Eliminación de restos y residuos.
- Limpiar las entradas y salidas de agua.
- Mantener en buen estado la vegetación.
- Controlar el nivel de sedimentos y eliminar cuando sea preciso.

Rendimiento:

- Reducción del caudal punta: MEDIO
- Reducción de volumen: BUENO
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: BUENO
- Potencial ecológico: BUENO

Áreas de biorretención

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son técnicas de drenaje urbano diseñados principalmente para el control de la calidad del agua antes de su vertido al medio, ya que su capacidad para el control de caudal es bastante reducida.

En estas áreas, que han de ser zonas algo deprimidas (ver **Figura 21**), se facilita la infiltración del agua colocando un suelo muy permeable bajo una capa de mulch o **filtro orgánico** y un **dren** colector de arena o gravilla. La eliminación de la contaminación se optimiza mediante la presencia de **vegetación**. Para un perfecto funcionamiento de estas técnicas se precisa de un sistema de pretratamiento como una zanja vegetal de infiltración y un dren filtrante perimetral de arena. También es aconsejable la colocación de un desagüe de emergencia.

El alto rendimiento de esta técnica en la eliminación de contaminantes se debe a la variedad de mecanismos presentes. La franja filtrante reduce la velocidad de la escorrentía permitiendo la deposición de las sustancias de mayor tamaño. En la zona de detención se facilita la infiltración, evaporación y la sedimentación de partículas. El mulch favorece el crecimiento de microorganismos que eliminan hidrocarburos y materia orgánica. Estos contaminantes también se eliminan en el suelo filtrante, además de hacerlo también los metales pesados y nutrientes. La vegetación favorece la remoción de contaminantes y la estabilización del suelo.

El volumen de calidad de agua es infiltrado a través del preparado edáfico y sale por el sistema de drenes. Los requerimientos necesarios para la disposición de esta técnica son que el área de drenaje debe estar entre las 0,2 y 1 hectáreas, el tamaño mínimo que ha de tener es de uno 18 m², la pendiente del terreno donde se sitúa no ha de superar el 6% y la distancia mínima al nivel freático es de 0,6 m.

Estos sistemas pueden construirse para tratar el agua de escorrentía de zonas residenciales.

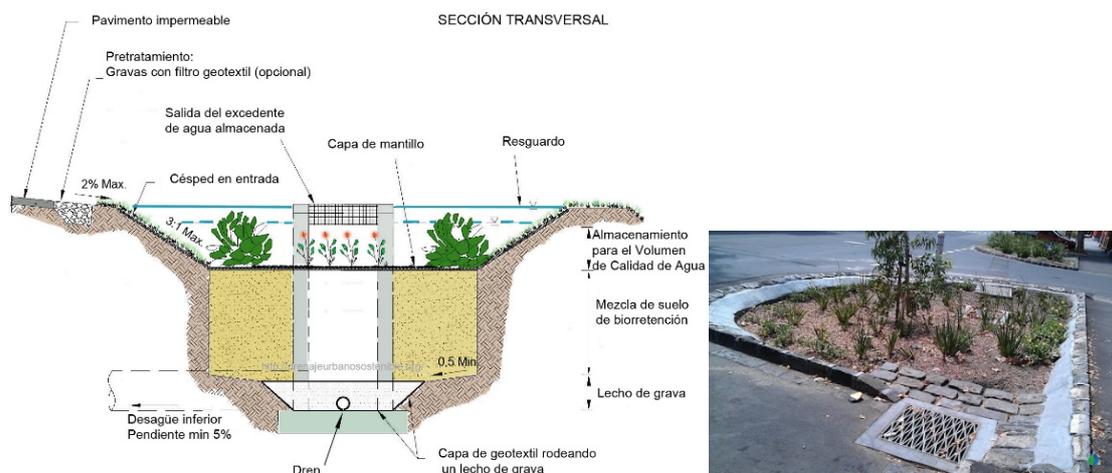


Figura 21: Ejemplos de área de biorretención. Fuente: Ana Abellán.

Usos típicos:

- Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales.
- Esta técnica trata la escorrentía de extensiones de más o menos una hectárea, si se quiere tratar una superficie mayor, es recomendable usar varias áreas de biorretención y dividir dicha superficie.
- Son superficies ajardinadas en depresión que además pueden tener otros usos como islas en estacionamientos, medianas de carretera o de funcionalidad estética en calles.

Ventajas/beneficios:

- Reducen la escorrentía, es recomendable en zonas muy impermeables, como las áreas de aparcamiento.
- Elimina sedimentos finos, metales pesados, bacterias, nutrientes y materia orgánica.
- Su diseño es flexible, hay varias opciones según diferentes condiciones que pueden darse.
- Son estéticamente atractivas.

Desventajas y limitaciones:

- No son apropiadas en zonas con pendientes superiores al 15%.
- Las altas cargas de sedimentos pueden causar problemas, se recomienda algún tipo de pretratamiento.
- Flujos concentrados pueden necesitar una consideración especial en el diseño.

Requisitos de mantenimiento:

- Mantenimiento de rutina de zonas ajardinadas, eliminación de malas hierbas y retirada de restos de poda y de plantas muertas.
- Control de los sedimentos en la zona de césped.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: MEDIO
- Reducción de volumen: MEDIO (alto con infiltración)

- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: BUENO
- Potencial ecológico: MEDIO

Filtros de arena

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], los procesos que tienen lugar en estas técnicas son la retención, la filtración y sedimentación. En los filtros de arena se almacena el agua temporalmente y la hacen atravesar varias capas de arena, mejorando así su calidad en el flujo de salida. Éste puede ir directamente a la red de alcantarillado o infiltrarse en el subsuelo.

Como se puede ver en la **Figura 22**, los filtros de arena constan de dos cámaras, en la primera se eliminan elementos flotantes y sedimentos pesados, y en la segunda tiene lugar el proceso de filtración a través de un lecho de arena. A veces se añade una tercera cámara, la de descarga.

Esta técnica es poco viable en el control de caudales punta a menos que se traten áreas inferiores a 4 hectáreas o los sucesos de lluvia sean poco intensos, de un período de retorno de dos años. Además, para realizar su actividad, la pendiente ha de ser inferior al 6%, la diferencia de cotas entre la entrada y la salida como mínimo será de 0,6 metros y la carga hidráulica de 1,5 m., no pudiendo haber un flujo permanente de agua, además se deben evitar infiltraciones en caso de cercanía a un acuífero.

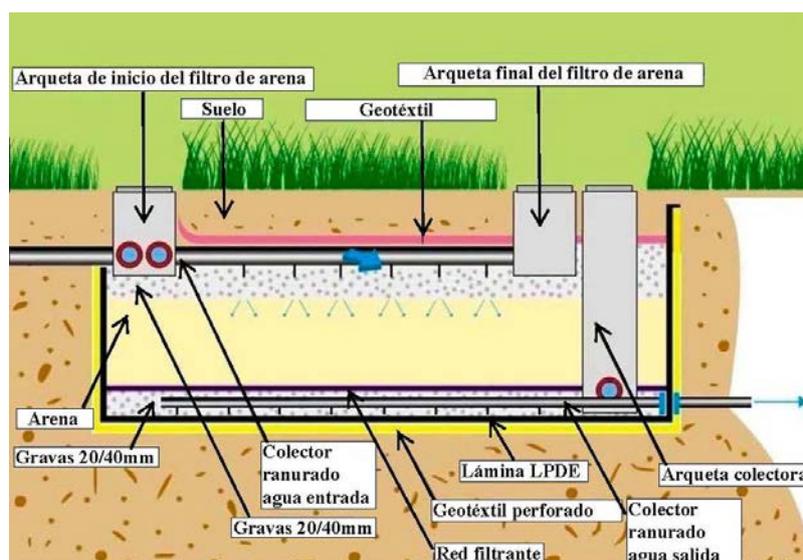


Figura 22: Ejemplo de filtro de arena. Fuente: Ana Abellán

Tipos de filtros:

Filtros perimetrales, son estructuras enterradas construidas a lo largo del lateral de una superficie impermeable.

Filtros enterrados, se sitúan en cámaras subterráneas localizadas sobre todo en áreas altamente urbanizadas.

Filtros orgánicos, son estructuras similares a los filtros superficiales en los que la arena de la segunda cámara es sustituida por un medio orgánico como el compost.

Usos típicos:

- Gestión de la calidad del agua de escorrentía urbana, son capaces de retener una alta gama de contaminantes.

Ventajas/beneficios:

- Consiguen una mejora sustancial de la calidad del agua de escorrentía filtrada, incluyendo la eliminación del fósforo.

Desventajas y limitaciones:

- Pueden obstruirse por arrastre de limos o arcillas.
- No pueden estar cerca de la base de ningún edificio a menos que haya entre ambos una membrana impermeable.
- No puede estar en funcionamiento si hay obras cerca.

Requisitos de mantenimiento:

- Hacer limpieza de los filtros de forma más o menos frecuente para evitar obstrucciones.
- Si se instala un pretratamiento simple previo, se disminuyen las necesidades de mantenimiento.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: BAJO
- Reducción de volumen: MEDIO/BAJO
- Tratamiento de calidad de agua: ALTO
- Potencial beneficio social/urbana: ESCASO
- Potencial ecológico: ESCASO

2.5.2 Sistemas de Transporte**Drenes filtrantes**

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son zanjas poco profundas recubiertas de geotextil y rellenas de material filtrante, en el que suele haber un conducto inferior de transporte. Están diseñados para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas, transportándola hacia aguas abajo. Permiten la infiltración y favorecen la laminación de la escorrentía.

El tiempo de estancia del agua en el dren debe ser suficientemente alto y la velocidad del agua suficientemente lenta para que exista infiltración a través del geotextil. De esta manera, en algunos drenes no es necesario dirigir el agua hasta el punto de vertido, pues al cabo de una cierta longitud se ha infiltrado totalmente.

Cunetas verdes

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], las cunetas verdes son estructuras lineales cubiertas de hierba, ver **Figura 23**, con una base superior a medio metro y taludes con poca pendiente ($< 1V:3H$). Están diseñadas para capturar y tratar el volumen de calidad de agua.

Deben generar velocidades inferiores a 1 o 2 m/s para que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y no aparezcan problemas de erosiones. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.



Figura 23: Ejemplo de cuneta verde. Fuente: Ana Abellán

Hay tres tipos de cunetas verdes:

Las **tradicionales**, canales recubiertos de césped que se usan para transportar el agua de escorrentía.

Las **vegetales secas**, con un filtro formado por un material muy permeable que permite que todo el volumen de agua se infiltre a través del fondo del canal. Se llaman así porque la mayor parte del tiempo no contiene agua.

Las **vegetales húmedas** retienen el agua de forma permanente, para ello, se ejecutan en lugares que tienen el nivel freático elevado o tienen el suelo impermeable.

Esta técnica se implanta a lo largo de carreteras y calles residenciales, para tratar agua de escorrentía de áreas impermeables, como por ejemplo sería, un aparcamiento.

Para que funcionen correctamente, su extensión en planta ha de ser entre un 10% y un 20% del área total a drenar, que ha de ser inferior a 2 hectáreas. Un problema a evitar es la erosión por exceso de velocidad del agua. Por ello la pendiente longitudinal no ha de superar el 4%. Lo mejor es que tengan pendientes pequeñas. Si hay que aumentar la retención, se pueden construir pequeños azudes que aseguren un tiempo de retención mayor, ayudando a laminar las puntas en el flujo. Si están sobre zonas de protección de aguas subterráneas, se pueden sellar en su zona inferior, de manera que la cuneta vegetada mantenga todas sus ventajas hidráulicas, evitando la infiltración.

Usos típicos:

- Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales/industriales.
- Se pueden establecer sustituyendo a las convencionales en carreteras.

Ventajas/beneficios:

- Fáciles de incorporar en el paisaje.
- Buena eliminación de contaminantes urbanos.
- Reducen el coeficiente de escorrentía y los volúmenes de agua generados.
- Tienen bajo costo.
- Su mantenimiento puede ser incorporado en la gestión general del paisaje urbano.
- La acumulación de elementos que dificulten su funcionamiento es fácil de detectar y eliminar.

Desventajas y limitaciones:

- No son aptas en zonas escarpadas.
- La opción de poner árboles para tratarlas como zonas ajardinadas está muy limitada o no es conveniente.
- Existe riesgo de bloqueo en la conexión con el colector de salida.

Requisitos de mantenimiento:

- Eliminación de residuos y cualquier elemento que obstruya la circulación del agua.
- Cortar periódicamente la hierba y eliminar los restos.
- Limpiar las entradas a las alcantarillas de desechos y sedimentos.
- Reparar las áreas erosionadas o dañadas.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: MEDIO
- Reducción de volumen: MEDIO
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: MEDIO/BUENO
- Potencial ecológico: MEDIO

Según Charlesworth [S.M. Charlesworth, 2012], un estudio generado por WRAP (Programa de Acción de Recursos de residuos) investigó el potencial del material grueso de compost para incorporarlos en sistemas de drenajes sostenibles, como cunetas verdes, reemplazando la capa superior del suelo sobre el que se coloca césped. Muchas toneladas de compost son generados al año procedente principalmente de cocinas y jardines. Mientras hay salida comercial para el grado más fino en viveros, hay poca demanda para el material grueso. En los experimentos elaborados, se obtuvieron resultados favorables en cuanto a retención de contaminantes, en las que el compost era capaz de retener una gran cantidad de hidrocarburos, entre otros.

Los microorganismos son una parte esencial de la producción de compost, los cuales están involucrados en la descomposición de materiales de fuentes primarias. Dispositivos tales como cunetas mejoran la calidad del agua y más aún si se utilizan como sustratos, materiales de compost, ya que los espacios abiertos dentro del compost permite el aumento de los niveles de oxígeno que fomenta la actividad microbiana, además, de que se aumenta la conductividad hidráulica del agua. La presencia de vegetación en estos elementos de drenaje mejora aún más si cabe la calidad del agua.

Los materiales como el compost contienen altas concentraciones de humus que ayudan a la degradación y retención de contaminantes urbanos como hidrocarburos y metales pesados. Se ha demostrado que los sustratos normalmente utilizados en las cunetas verdes solamente tienen bacterias pero no hongos degradadores de hidrocarburos, mientras que en el compost sí están presentes hongos y microorganismos degradadores de diversos contaminantes nocivos.

Franjas filtrantes

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], las franjas filtrantes son franjas de suelo cubiertas de vegetación, anchas y con poca pendiente, emplazadas entre una superficie impermeable y el medio que recibe la escorrentía, ver **Figura 24**. Esta técnica favorece la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración.

Las pendientes de las franjas filtrantes deben ser suaves y la anchura a atravesar por el agua lo mayor posible puesto que a mayor ancho y alta densidad de vegetación se obtiene una mayor capacidad filtrante y un considerable grado de depuración. Las franjas de filtración pueden acoger cualquier forma de vegetación natural, desde un prado hasta un pequeño bosque.



Figura 24: Ejemplo de franja filtrante. Fuente: Ana Abellán

Usos típicos:

- Recogida de agua de zonas adyacentes impermeables, como pueden ser los parkings.
- Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales/industriales.

Ventajas/beneficios:

- Adecuadas para tratar la escorrentía de grandes superficies impermeables adyacentes.
- Además de la filtración disminuye la escorrentía, facilitan la evaporación del agua.
- Como tratamiento previo del agua antes de pasar a otra técnica de drenaje urbano sostenible, es muy efectiva.
- Se integran fácilmente en el paisaje y pueden tener un gran valor estético.

Desventajas y limitaciones:

- No son adecuadas en lugares inclinados
- No son convenientes en lugares donde el agua entrante tenga una alta carga de contaminación y haya un acuífero cerca.
- No atenúan de forma significativa el volumen de agua de escorrentía ni el caudal pico.

Requisitos de mantenimiento:

- Hay que inspeccionarlas y limpiarlos periódicamente.
- Necesitan de un cuidado de la vegetación presente.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: ESCASO
- Reducción de volumen: ESCASO
- Tratamiento de calidad de agua: MEDIO
- Potencial beneficio social/urbana: MEDIO
- Potencial ecológico: MEDIO

2.5.3 Sistemas de almacenaje y tratamiento pasivo

Depósitos de lluvia

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son depósitos que se emplean para recoger y almacenar el agua de lluvia que cae sobre el tejado de una casa, **Figura 25**. El agua que cae sobre la cubierta va a parar a unas canaletas que la conducen hacia un bajante que desemboca en el depósito. Ahí se conserva para ser usada con posterioridad, como sería agua de riego, para cisternas de baño, agua para lavar e incluso agua para consumo directo si dispone de un sistema especial de tratamiento. Con este aprovechamiento se atenúa el gasto de agua de la red de abastecimiento.

En zonas donde la lluvia es frecuente, los depósitos de lluvia sirven, además, para retener el pico del hidrograma, disminuyendo la presión sobre la red municipal de saneamiento durante los picos de escorrentía y mitigando así el riesgo de inundación. Y en zonas donde el clima es más árido, sirven para almacenar el agua durante la época de lluvias para luego usarla en la época seca.



Figura 25: Ejemplo de depósito de lluvia. Fuente: Ana Abellán

Usos típicos:

- Recogida de agua de las cubiertas de los edificios para su posterior uso.

Ventajas/beneficios:

- Los depósitos de lluvia pueden suponer una nueva fuente del agua como recurso (para limpieza, riego...), reduciendo su demanda de la red de abastecimiento.
- Reduce el pico del hidrograma en la red de saneamiento al retener parte del agua de lluvia.
- Si el agua recogida no es para consumo directo, no necesita un tratamiento, por lo que la instalación del sistema es barata.

Desventajas y limitaciones:

- Si hay que instalar un sistema de tratamiento, se encarece bastante.
- A veces se requiere de un sistema de bombeo.
- Estéticamente no suelen ser atractivos.

Requisitos de mantenimiento:

- Hay que inspeccionarlos y limpiarlos periódicamente.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: ALTO (depende del diseño)
- Reducción de volumen: ALTO (depende del diseño)
- Tratamiento de calidad de agua: ESCASO
- Potencial beneficio social/urbana: ESCASO
- Potencial ecológico: ESCASO

Depósitos de detención enterrados

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son depósitos cuya función es la de laminar el hidrograma mediante el almacenamiento de un volumen de escorrentía y su posterior vertido al medio. Se construyen bajo tierra por la escasez del terreno o por que las condiciones del entorno no recomienden una infraestructura a cielo abierto, han de construirse bajo el suelo. Pueden estar hechos con materiales diversos, siendo el hormigón armado y los materiales plásticos como el polipropileno, los más habituales.

Depósitos de detención superficiales

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son depósitos que almacenan temporalmente la escorrentía generada aguas arriba, laminando los caudales punta y atenuando los picos de caudal. Esto reduce considerablemente el riesgo de inundación. Como no almacenan agua de forma permanente, también se les llama depósitos secos, ver **Figura 26**.

Favorecen la sedimentación de contaminantes eliminándolos así de la masa de agua. Pueden ser compaginados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas o localizarse en “zonas muertas”, zonas que no tienen ningún uso en la actualidad ni proyectado.

Para un correcto funcionamiento el área drenante ha de estar comprendida entre 4 y 30 hectáreas; la pendiente longitudinal, ha de ser inferior al 15%, las diferencias de cota entrada-salida del agua han de ser de metro y medio y hay que impermeabilizar previamente el suelo.



Figura 26: Ejemplo de depósitos de detención superficiales. Fuente: Ana Abellán

Usos típicos:

- Depresiones del terreno donde se puede retener agua, en zonas residenciales donde puede tener un uso paisajístico o recreativo.

Ventajas/beneficios:

- Pueden suponer una nueva fuente del agua como recurso (para limpieza, riego...), reduciendo su demanda de la red de abastecimiento.
- Reduce el pico del hidrograma en la red de saneamiento al retener parte del agua de lluvia.
- Si el agua recogida no es para consumo directo, no necesita un tratamiento, por lo que la instalación del sistema es barata.

Desventajas y limitaciones:

- Si hay que instalar un sistema de tratamiento, se encarece bastante.
- A veces se requiere de un sistema de bombeo.
- Estéticamente no suelen ser atractivos.

Requisitos de mantenimiento:

- Eliminación de restos y residuos.
- Mantener en buen estado la vegetación.
- Limpiar las entradas y salidas de agua.
- Controlar el nivel de sedimentos y eliminar cuando sea preciso.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: ALTO
- Reducción de volumen: ESCASO
- Tratamiento de calidad de agua: MEDIO
- Potencial beneficio social/urbana: ALTO
- Potencial ecológico: MEDIO

Estanques de retención

Según Ana Abellán [Abellán. 2015], son lagunas artificiales que tienen agua de forma permanente por lo que permiten la proliferación de flora y fauna acuáticas, ver **Figura 27**. Su profundidad ha de estar comprendida entre 1,2 y 2 m. El volumen de agua constante oculta bancos de sedimentos antiestéticos e incrementa el rendimiento en la eliminación de nutrientes, metales pesados, coliformes y materia orgánica. La característica fundamental que tienen los estanques de retención es su capacidad de eliminación de contaminantes, ya sea por sedimentación o por procesos de biodegradación llevados a cabo por las plantas y microorganismos que allí habitan.

Se dimensionan para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía, de 2 a 3 semanas. Ya que requieren de un caudal base elevado, este tipo de estanque se utiliza en estrategias de control regional.

Los principales condicionantes físicos a los que está supeditado el establecimiento de esta medida de control de la escorrentía son que necesita de grandes extensiones del área de drenaje de unas 10 hectáreas aproximadamente, la pendiente longitudinal del perfil no puede superar el 15% y la diferencia de cotas entre la entrada y la salida ha de estar comprendida entre 1,2 y 1,8 metros. Otro factor importante en el diseño de estos elementos es su localización, deben evitarse zonas próximas a acuíferos y si no puede ser, impermeabilizar el fondo del estanque para evitar que los agentes contaminantes lleguen a las aguas subterráneas.



Figura 27: Ejemplo de estanques de retención. Fuente: Ana Abellán

Los estanques de retención se clasifican en:

- **Estanque de retención** propiamente dicho, es aquel en el que el volumen de agua permanente es igual al volumen de calidad de agua.
- **Estanque de retención extendido**, el volumen de agua permanente es un porcentaje mayor del 50% al volumen de calidad de agua.
- **Microestanque de retención**, el volumen de agua a tratar es inferior a una quinta parte del volumen de calidad, el rendimiento de tratamiento es bueno para pequeñas cuencas de unas 4 hectáreas.
- **Sistemas de estanques múltiples**, la suma del volumen de todos los estanques componentes del sistema es igual al volumen de calidad de agua. Al incrementar los tiempos de retención del agua, la eliminación de sustancias no deseables es más efectiva, pero en contraposición necesitan de más espacio.

Usos típicos:

- Gestión de la escorrentía en zonas residenciales de no muy alta densidad donde además de dar valor paisajístico puede tener otros usos sociales.

Ventajas/beneficios:

- Tiene capacidad de gestión para tormentas con período de retorno alto.
- Elimina buena capacidad de contaminantes urbanos
- Con el fondo impermeabilizado, puede utilizarse donde las aguas subterráneas sean vulnerables.
- Suele tener buena aceptabilidad en las comunidades
- Alto potencial ecológico, estético y puede tener usos recreativos.
- Pueden agregar valor a las propiedades locales.

Desventajas y limitaciones:

- No se produce ninguna reducción significativa en el volumen de escorrentía.
- Sin una entrada de agua regular, se pueden dar condiciones de anaerobiosis.
- En zonas densamente pobladas existe limitación de espacio.
- No es recomendable su construcción en zonas escarpadas.
- Colonizaciones por especies invasoras podrían aumentar las necesidades de mantenimiento.

Requisitos de mantenimiento:

- Eliminación de restos y residuos.
- Mantener en buen estado la vegetación.
- Limpiar las entradas y salidas de agua.
- Controlar el nivel de sedimentos y eliminar cuando sea preciso.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: BUENO
- Reducción de volumen: ESCASO
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: BUENO
- Potencial ecológico: BUENO

Según Helena Ramos [Ramos, 2013], los sistemas urbanos de drenaje sostenibles que incluyen estanques o puntos de retención pueden ser usados, además de para almacenar agua de lluvia, para producir energía mediante convertidores de energía, ver **Figura 28**.

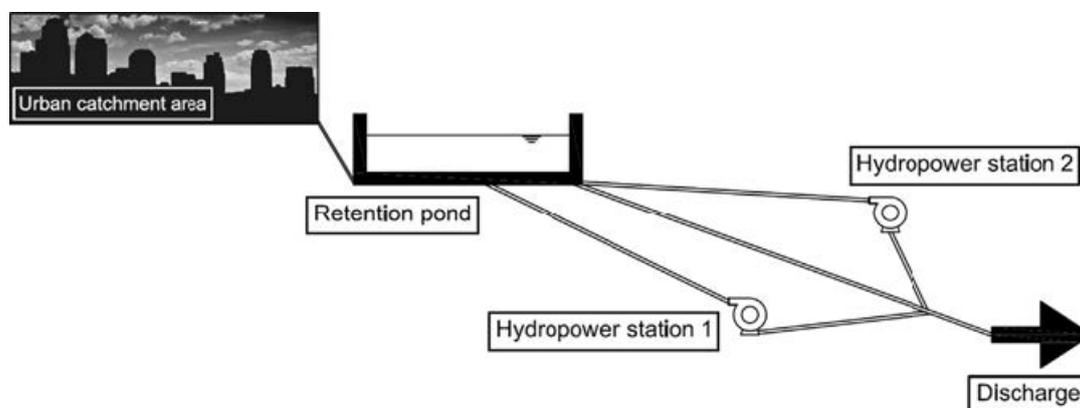


Figura 28: Esquema del sistema de producción de energía mediante punto de retención y convertidores.

Fuente: Helena M. Ramos

Se espera que en futuras áreas urbanas, exista una comprensión integral del nexo agua-energía, aprovechando y recolectando el exceso de agua producida por precipitaciones torrenciales.

Se ha realizado un estudio en un distrito del casco histórico de Lisboa, sobre la optimización en la producción de energía, mediante un convertidor de energía hidroeléctrica en las zonas bajas de dicho distrito, ver **Figura 29**, el convertidor trata de aprovechar la energía potencial de un punto de retención de aguas pluviales, elemento que normalmente está presente en muchas cadenas de diseño de SUDS. Los puntos de retención normalmente descargan en el medio ambiente o dirigen el agua a plantas de tratamiento.

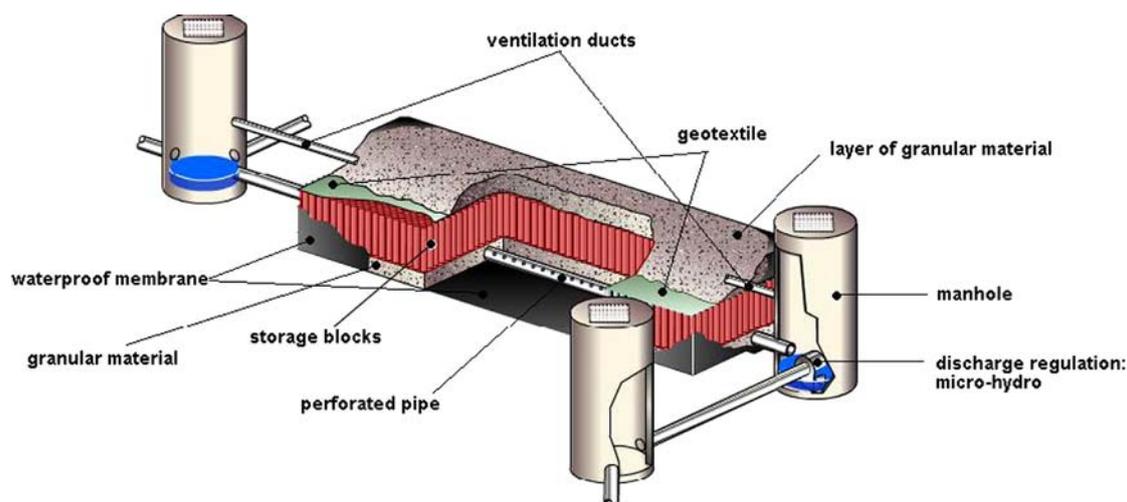


Figura 29: Puntos de retención y sistema de control y producción de energía. Fuente: Helena M. Ramos

Hoy en día el drenaje urbano puede y debe ser visto en una visión más amplia, como parte del nexo agua-energía. Este nexo se refiere al hecho de que el agua y la energía son necesidades básicas con demandas similares y, en consecuencia, debe realizarse un estudio de gestión de ambos recursos de manera integrada, ya que pocos autores han realizado un análisis de ambos recursos de manera conjunta. Tradicionalmente se han gestionado de manera independiente.

El nuevo enfoque de tener una gestión conjunta en los sistemas de drenaje urbano sostenibles no sólo asegurará que el sistema está diseñado para hacer frente a los posibles eventos extremos hidrológicos, sino también para aumentar el uso de las energías renovables, que es particularmente relevante en un contexto con mayor escasez de recursos primarios.

La energía hidroeléctrica es una de las fuentes de energía renovable más utilizadas en el mundo, que pueden ayudar a mitigar el cambio climático mediante la reducción de nuestra dependencia de recursos fósiles.

La integración de la producción de energía hidroeléctrica en SUDS es dependiente de la escorrentia total y de la geometría de cada estanque de retención en cada uno de los sistemas de drenaje. Además, se necesitan convertidores de energía específicos para que estos sistemas funcionen. Dichos convertidores tienen bajos costes de instalación y mantenimiento que los hacen una solución sostenible.

El análisis del área estudiada se basa en averiguar una demanda nominal de potencia para el convertidor en función del volumen, la forma, la altura y la profundidad del estanque de retención, así como el control de la descarga de agua. El objetivo es maximizar la producción de energía.

En conclusión, estos sistemas de drenaje sostenibles pueden ser claves y prometedores en futuras redes de aguas en ciudades inteligentes, donde la importancia del sistema de drenaje puede cambiar el paradigma actual de inundaciones. Además de convertirse en fuentes de energía renovables con varias ventajas, tanto medioambiental como socialmente en zonas urbanas.

En las soluciones analizadas, para un mismo volumen de estanque de retención, a mayor nivel del punto de retención mayor será la producción de energía para la misma descarga en la turbina. Lo valores del flujo depende de las lluvias. La demanda de destino debe ajustarse con respecto a las precipitaciones y características del sistema.

Se requiere un esfuerzo para maximizar la potencia generada y maximizar el déficit de energía.

El estudio revela que este sistema podría producir alrededor de 210MW/h al año. Teniendo en cuenta que el propósito principal del sistema no es la producción de energía, sino la prevención de las inundaciones en zonas urbanas.

Es importante destacar que esta metodología de simulación hidráulica puede mejorar la elasticidad del sistema de drenaje en zonas urbanas y a escala regional.

Humedales artificiales

Según Ana Abellán [Abellan, 2015], son elementos artificiales, de escasa profundidad y con una elevada densidad de vegetación emergente, propia de pantanos y zonas húmedas. Esta alta cantidad de vegetación hace que los niveles de bioeliminación de contaminantes sean más que notables.

Además de la gran efectividad en el control de la calidad del agua, también son de utilidad en el control del volumen de escorrentía. Un punto a tener en cuenta en el diseño de estos elementos es la importancia de asegurar siempre un flujo base, especialmente en períodos de sequía, ya que es imprescindible para mantener con vida la flora y la fauna que habitan en el humedal.

Una de las ventajas más significativas de estas técnicas es que aporta un gran potencial ecológico, estético, educacional y recreativo al lugar en el que son emplazadas.

A la hora de su diseño hay que tener en cuenta que: las áreas de drenaje han de estar en torno a las 10 hectáreas, la pendiente longitudinal no ha de superar el 8%, la diferencia de cotas entrada-salida tiene que estar entre 0,9 y 1,5 metros y el suelo ha de impermeabilizarse si hay algún acuífero cercano. Para que los rendimientos de funcionamiento sean adecuados, en el diseño de cualquier humedal hay que dimensionar cuatro zonas interdependientes con varias profundidades. Estas cuatro zonas son:

Zona de aguas profundas, con un calado entre 0,5 y 1,8 metros y donde se desarrolla vegetación sumergida y flotante.

Zona baja de vegetación emergente, con un calado pequeño, entre 6 cm y medio metro.

Zona alta de vegetación emergente, desde los 6 cm hasta el nivel normal del estanque. En esta zona hay que incorporar una gran variedad de especies vegetales y su extensión ha de ser superior a la de la zona baja.

Zona inundable, es la situada por encima del volumen permanente y que se inunda durante los episodios de mayor intensidad.

Hay varias clasificaciones de humedales artificiales, las propuestas por el CEDEX son:

Humedal poco profundo, cuyo volumen de agua permanente puede oscilar entre el volumen de calidad y el triple de su valor, por lo que ocupa una gran extensión.

Humedal poco profundo de detención extendida, el volumen permanente es sólo una fracción del volumen de calidad de agua, por lo que los requerimientos de espacio son menores.

Sistema de humedales, compuesto por dos zonas, un estanque de retención donde se retienen los sólidos más gruesos y una zona de marisma somera con vegetación donde se eliminan más contaminantes.

Pequeños humedales, diseñados para cuencas drenantes de entre 2 y 5 hectáreas.



Figura 30: Ejemplos de humedales artificiales. Fuente: Ana Abellán

Usos típicos:

- Gestión de la escorrentía en zonas residenciales de no muy alta densidad aunque pueden construirse a diferentes escalas, dependiendo del nivel de urbanización.
- Gestión de la calidad del agua de escorrentía urbana, son capaces de retener una alta gama de contaminantes.

Ventajas/beneficios:

- Excelente capacidad de eliminación de contaminantes.
- Con ciertos cuidados, pueden utilizarse donde las aguas subterráneas son vulnerables.
- Buena aceptabilidad por parte de la comunidad.
- Alto potencial ecológico, estético y beneficios sociales y paisajísticos.
- Pueden revalorizar una comunidad, al incrementar su valor paisajístico.

Desventajas y limitaciones:

- Requieren de una elevada ocupación del suelo.
- Se necesita de un flujo base mínimo.
- Tiene un limitado rango de calados efectivos para la atenuación de flujo.
- Pueden aparecer problemas de eutrofización.
- Poca reducción del volumen de escorrentía.
- No son convenientes en sitios con pendiente.

- La posible colonización por especies invasoras aumentaría los requerimientos de mantenimiento.
- Rendimiento susceptible de variar con las entradas de sedimentos.

Requisitos de mantenimiento:

- Eliminación de restos y residuos.
- Limpiar las entradas y salidas de agua.
- Mantener en buen estado la vegetación, en este caso se necesitarán técnicos con conocimientos avanzados de botánica.
- Controlar el nivel de sedimentos y eliminar cuando sea preciso.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: BUENO
- Reducción de volumen: ESCASO
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: BUENO
- Potencial ecológico: BUENO

2.6 Fases de Selección de Técnicas de Drenaje Urbano Sostenibles

Según Ana Abellan y Sara Perales [Abellán. 2015] y [Perales. 2008], cuando se interviene en un entorno urbano con técnicas de drenaje sostenibles, hay que tener en cuenta que deben conformar un sistema, por lo que, en general no es recomendable implantar algunas medidas de manera individual.

Han de concebirse como una cadena, que debe de cumplir unos objetivos globales a partir de resultados parciales de cada eslabón que compone dicha cadena. Esta cadena ha de ser completa en el tratamiento de las aguas al final de la cadena, ya esté compuesta por técnicas de drenaje sostenible o apoyada por infraestructuras de drenaje convencionales existentes.

El proceso de selección ha de ser cíclico de prueba-error, encadenando distintos SUDS ha de ajustarse a todos y cada uno de los condicionantes impuestos. Existe una jerarquía en el establecimiento de la cadena de las distintas técnicas:

- Prevención: medidas no estructurales
- Control en Origen: gestión del agua en la fuente o inmediaciones
- Gestión en entorno urbano: gestión del agua a escala local
- Gestión en cuencas: gestión del agua a escala regional

Ha de implementarse medidas de prevención y comprobar si son suficientes para alcanzar los objetivos propuestos y con los criterios de diseño. En la mayoría de casos no son suficientes y deben apoyarse en medidas estructurales, comenzando por sistemas de control en origen, como son las superficies permeables o pozos de infiltración. Se ha de dividir el área de estudio en diferentes subcuencas para facilitar la salida del agua. Si después de esto, se sigue sin llegar a los requerimientos exigidos, hay que usar otro tipo de sistemas sostenibles, como aquellos que transportan el agua a otro punto como son las franjas filtrantes o las cunetas verdes. Si con la actuación de estos sistemas de transporte tampoco se cumplen los objetivos de cantidad y calidad del agua, deben utilizarse sistemas de detención o retención como depósitos, estanques o humedales, al final de la cadena o intercalados en ella.

Una vez seleccionadas las técnicas, debe ajustarse el proceso, revisando cada uno de los eslabones que componen la cadena de drenaje, su utilidad dentro de ella, su posibilidad de agrupación en distintas etapas y la sustitución o eliminación de alguno de los eslabones manteniendo un nivel de satisfacción óptimo.

Todo este proceso de elección, incluidos la planificación y el diseño de los SUDS, ha de enfocarse como un trabajo multidisciplinar. También debe incluir a todos los agentes sociales implicados en el proceso, desde las etapas previas de planeamiento hasta su uso, mantenimiento y explotación de las infraestructuras.

Consideraciones previas al proceso de selección, **Figura 31**:

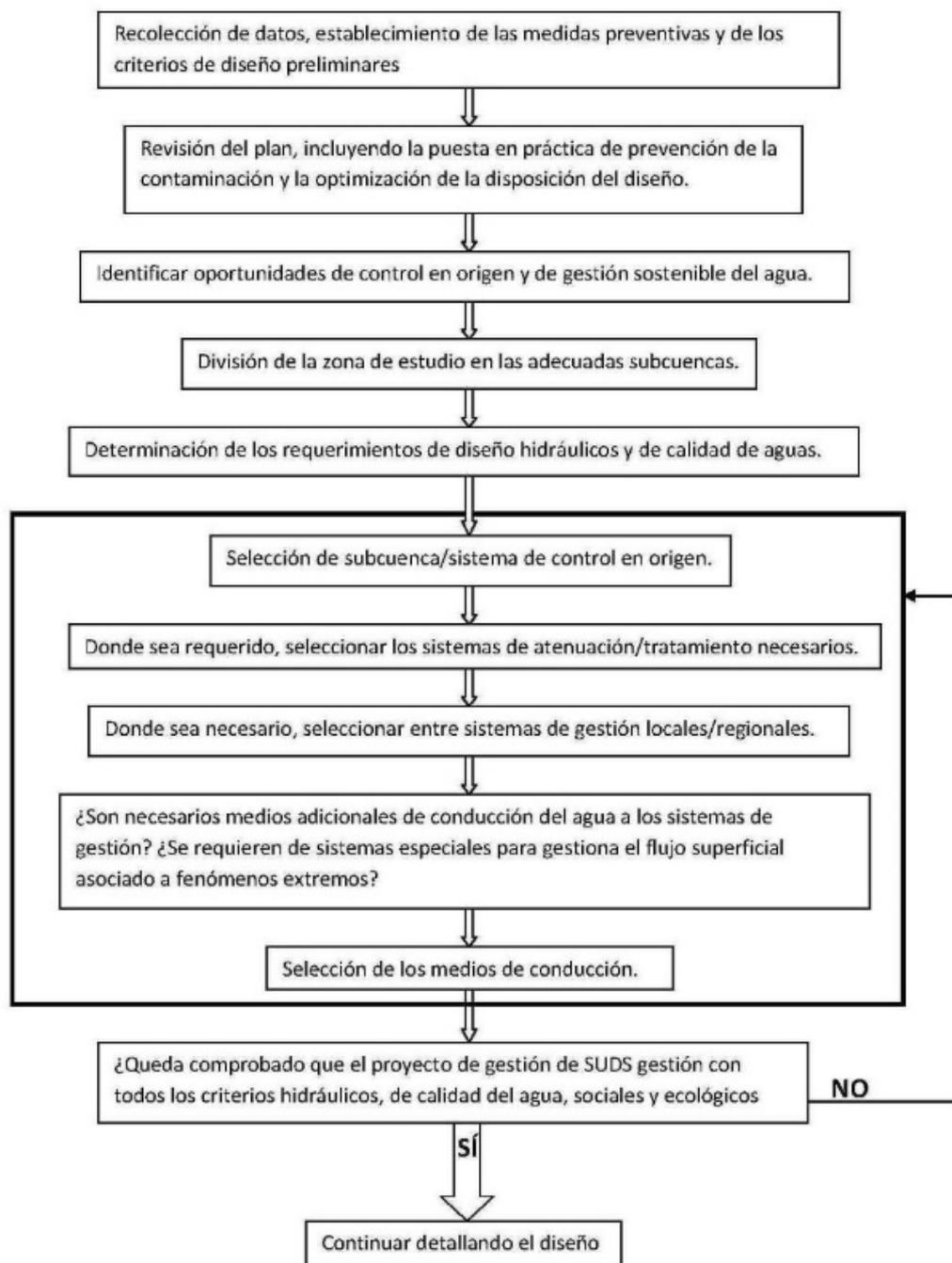


Figura 31. Esquema del proceso de selección de SDSU. Fuente: CIRIA.

2.7 Criterios de diseño de Técnicas de Drenaje Sostenibles

Según Ana Abellán y Sara Perales [Abellan. 2015] y [Perales. 2008], la planificación y el diseño de los sistemas SUDS deben enfocarse como una tarea multidisciplinar, en la que deben intervenir disciplinas como la hidrología, hidráulica, microbiología, geotecnia, cálculo de estructuras, impacto ambiental, paisajismo, urbanismo... etc.

Los criterios de diseño proporcionan un marco para trazar un sistema eficaz de drenaje en un área determinada, capaz de proteger el entorno social y el ambiental. Además de otras funciones como:

- Almacenamiento y/o conducción segura de las aguas de escorrentía.
- Reducción del riesgo de inundación.
- Protección frente a la erosión del cauce aguas abajo.
- Disminución de la carga de contaminantes en el agua.
- Contribución a mejorar el medio.

En el proceso de diseño deben considerarse los posibles riesgos, evaluando consecuencias ambientales, físicas, sociales, económicas y sociales provocadas por la aparición de fenómenos mayores de aquellos para los que se ha realizado el diseño.

Cuando se seleccionan los criterios de diseño para un lugar específico, han de contemplarse los siguientes principios: nivel requerido del servicio, la sostenibilidad y el coste de la solución de drenaje.

Clasificación de los criterios de diseño:

- **Criterios de diseño hidráulicos:** asegurar que no se producen daños ni a personas ni a bienes de la zona, así como que no se produzcan efectos no deseados aguas arriba o abajo. Una variable muy importante en el proceso de diseño es la determinación de los volúmenes útiles de almacenamiento de las diferentes infraestructuras, para lo cual los condicionantes climatológicos locales son fundamentales y varían en función de la zona. Un diseño integral debe trabajar con todo el espectro de eventos de lluvia, desde los eventos más frecuentes y de pequeña entidad hasta los más raros y de gran magnitud. En España no existen normativas que fijan los periodos de retorno y las duraciones de las lluvias para alcanzar los objetivos fijados, mientras en EEUU y Reino Unido sí, ver **Figura 32**.

Objetivo de diseño	Período de retorno de la lluvia (años)				
	0.01	0.1	1	10	100
Técnicas de infiltración					
Control de la contaminación					
Control de la erosión en el medio receptor					
Control de las inundaciones					

Figura 32. Tabla de periodo de retorno de la lluvia (años) según el objetivo del diseño.

Fuente: Sara Momparler.

- **Criterios basados en la calidad del agua:** el principio general a seguir es el de un apropiado sistema de TDUS en cadena, tal que su implementación derive en una efectiva mitigación de los riesgos provocados por la contaminación del agua debida a diferentes actividades.

Los métodos usados para conseguir eliminar la mayor contaminación son: infiltración, filtración, detención y estanque permanente. Y los mecanismos de eliminación de contaminantes son los siguientes: sedimentación, filtración y biofiltración, absorción, biodegradación, volatilización, precipitación, nitrificación y plantas.

- **Criterios sobre el servicio público** que puede proporcionar el SUDS: seguridad y salud de las personas, impacto paisajístico y beneficios sociales
- **Criterios de diseño ambientales:** maximizar el valor ecológico de las SDUS puede proporcionar una contribución importante en la mejoría de la diversidad biológica ya que puede facilitar el movimiento fauna por la creación de pasillos verdes dentro de áreas urbanas. La diversidad ecológica es incrementada por la consideración de las cuestiones siguientes: uso de plantas autóctonas, SUDS dentro o cerca de paisajes modificados, conservar y realzar sistemas de drenaje naturales, creación de una sucesión de tipos de hábitat, incluir un estanque con agua de forma permanente y realización de un mantenimiento apropiado y plan de gestión.

Un buen programa de mantenimiento de los sistemas SUDS deberá concebirse desde la etapa de planeamiento y de él dependerá en gran medida la eficacia del mismo. Se tendrán en cuenta aspectos como la titularidad de las infraestructuras, los medios disponibles, la ubicación, la frecuencia de funcionamiento esperada... etc.

A continuación pasamos describir los los distintos factores y criterios de diseño según organizaciones como CIRIA, CEDEX O DAYWATER:

Matrices de selección propuestas por CIRIA

La organización CIRIA propone unas matrices para ayudar al proyectista en la elección de las mejores técnicas de drenaje urbanos sostenibles a implantar en función de los factores afectados:

- Características físicas del suelo:

*: Requiere de alguna instalación adicional o condición determinada para su correcto funcionamiento.

** : A menos que siga la pendiente natural del terreno que alcanza ese valor.

NR: Posible, pero no recomendable.

Grupo de SDUS	Técnica	Suelo		Área de drenaje para cada técnica independiente		Profundidad del nivel freático		Pendiente		Carga hidráulica		Espacio disponible	
		Permeable	Impermeable	0-2 ha	> 2 ha	0-1 m	> 1 m	0-5 %	> 5 %	0-1 m	1-2 m	Poco	Elevado
Retención	Estanque de retención	Sí	Sí*	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Almacenamiento subsuperficial	Sí	Sí	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Humedal	Humedal poco profundo	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque de detención extendido	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque/Humedal	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal pequeño	Sí*	Sí*	Sí*	No	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
	Humedales con gravas sumergidas	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal en canal	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
Infiltración	Zanjas de infiltración	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
	Estanques de infiltración	No	Sí	Sí	NR	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
	Pozos de infiltración	No	Sí	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Filtración	Filtros de arena superficiales	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí
	Filtros de arena subsuperficiales	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí
	Filtros de arena perimetrales	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
	Biorretención	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Zanjas filtrantes	Sí	Sí*	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Detención	Estanques de detención	Sí	Sí*	Sí	NR	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
Canales abiertos	Cunetas	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
	Cunetas secas	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
	Cunetas húmedas	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
Control en fuente	Green roof	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Recolección de agua de precipitación	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No
	Pavimento permeable	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí

- Usos del suelo en el lugar de emplazamiento de la TDUS:

Grupo de SDUS	Técnica	Baja densidad	Zona Residencial	Carreteras locales	Zona comercial	Zonas en construcción	Zonas industriales
Retención	Estanque de retención	Sí	Sí	Si	Si	Sí	Si
	Almacenamiento subsuperficial	Sí	Sí	Si	Si	Sí	Si
Humedal	Humedal poco profundo	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
	Estanque de detención extendido	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
	Estanque/ Humedal	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
	Humedal pequeño	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
	Humedales con gravas sumergidas	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
	Humedal en canal	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
Infiltración	Zanjas de infiltración	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
	Estanques de infiltración	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
	Pozos de infiltración	Sí	Sí	Si	Si	No	Sí
Filtración	Filtros de arena superficiales	No	Sí	Si	Si	No	Sí
	Filtros de arena subsuperficiales	No	Sí	Si	Si	No	Sí
	Filtros de arena perimetrales	No	Sí	Si	Si	No	Sí
	Biorretención	Sí	Sí	Si	Si	Sí	Sí
	Zanjas filtrantes	Sí	Sí	Si	Si	Sí	Sí
Detención	Estanques de detención	Sí	Sí	Si	Si	Sí	Sí
Canales abiertos	Cunetas	Sí	Sí	Si	Si	Sí	Sí
	Cunetas húmedas	Sí	Sí	Si	Si	Sí	Sí
	Cunetas secas	Sí	Sí	Si	Si	Sí	Sí
Control en fuente	Green roof	Sí	Sí	No	Si	Sí	Sí
	Recolección de agua de precipitación	Sí	Sí	No	Si	Sí	Sí
	Pavimento permeable	Sí	Sí	No	Si	Sí	Sí

- Rendimiento del control de la calidad de las aguas de la TDSU:

A: Alto potencial

M: Medio potencial

B: Bajo potencial

S/A: Sin aplicación

Grupo de SDUS	Técnica	Tratamiento potencial de la calidad del agua					Control hidráulico			
		Eliminación de los sólidos suspendidos totales	Eliminación de metales pesados	Eliminación de nutrientes (fósforo, nitrógeno)	Eliminación de microorganismos	Capacidad para eliminar sólidos disueltos y en suspensión	Reducción del volumen de escorrentía	Idoneidad del control para tormentas de diferente periodo de retorno		
								0,5 años	10-30 años	100 años
Retención	Estanque de retención	A	M	M	M	A	B	A	A	A
	Almacenamiento subsuperficial	B	B	B	B	B	B	A	A	A
Humedal	Humedal poco profundo	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Estanque de detención extendido	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Estanque/ Humedal	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Humedal pequeño	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Humedales con gravas sumergidas	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Humedal en canal	A	M	A	M	A	B	A	M	B
Infiltración	Zanjas de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	B
	Estanques de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	A
	Pozos de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	B
Filtración	Filtros de arena superficiales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Filtros de arena subsuperficiales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Filtros de arena perimetrales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Biorretención	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Zanjas filtrantes	A	A	A	M	A	B	A	A	B
Detención	Estanques de detención	M	M	B	B	B	B	A	A	A
Canales abiertos	Cunetas	A	A	A	M	A	M	A	A	A
	Cunetas húmedas	A	A	M	A	A	B	A	A	A
	Cunetas secas	A	A	A	M	A	M	A	A	A
Control en fuente	Green roof	S/A	S/A	S/A	S/A	A	A	A	A	B
	Recolección de agua de precipitación	M	B	B	B	S/A	M	M	A	B
	Pavimento permeable	A	A	A	A	A	A	A	A	B

- Factores Ambientales y sociales afectados o implicados en la selección de la TDSU:

A: Alto potencial

M: Medio potencial

B: Bajo potencial

Grupo de SDSU	Técnica	Mantenimiento	Aceptación de la comunidad	Coste	Potencial de creación de hábitats
Retención	Estanque de retención	M	A	M	A
	Almacenamiento subsuperficial	B	A	M	B
Humedal	Humedal poco profundo	A	A	A	A
	Estanque de detención extendido	A	A	A	A
	Estanque/ Humedal	A	A	A	A
	Humedal pequeño	A	M	A	A
	Humedales con gravas sumergidas	M	B	A	M
	Humedal en canal	A	A	A	A
Infiltración	Zanjas de infiltración	B	M	B	B
	Estanques de infiltración	M	A	B	M
	Pozos de infiltración	B	M	M	B
Filtración	Filtros de arena superficiales	M	B	A	M
	Filtros de arena subsuperficiales	M	B	A	M
	Filtros de arena perimetrales	M	B	A	M
	Biorretención	A	A	M	A
	Zanjas filtrantes	M	M	M	B
Detención	Estanques de detención	B	A	B	M
Canales abiertos	Cunetas	B	M	M	M
	Cunetas húmedas	M	M	M	A
	Cunetas secas	B	M	M	M
Control en fuente	Green roof	A	A	A	A
	Recolección de agua de precipitación	A	M	A	B
	Pavimento permeable	M	M	M	B

Factores a considerar según CEDEX

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas propone una serie de factores a considerar en la planificación y selección de las técnicas de drenaje, algunos de ellos coinciden con los criterios de CIRIA.

También recomienda que se ha de disponer de una serie de datos iniciales que ayudarán en la correcta elección de las infraestructuras necesarias.

Entre la información de partida toma relevancia el estudio del sistema de drenaje que actualmente ocupa la zona de estudio, el patrón de los hidrogramas existentes antes del desarrollo urbano de la zona (cuando se trata de una nueva urbanización), la topografía de la cuenca, las áreas de aportación, el régimen de caudales y por supuesto los parámetros descriptivos de la hidrología.

Atendiendo a la publicación “Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano”, a su vez, basada en la Agencia Ambiental de los Estados Unidos, para escoger aquellas técnicas que mejor se adecuen a la consecución de los objetivos de diseño, hay que atender los criterios relacionados con:

- Impactos sobre el entorno:

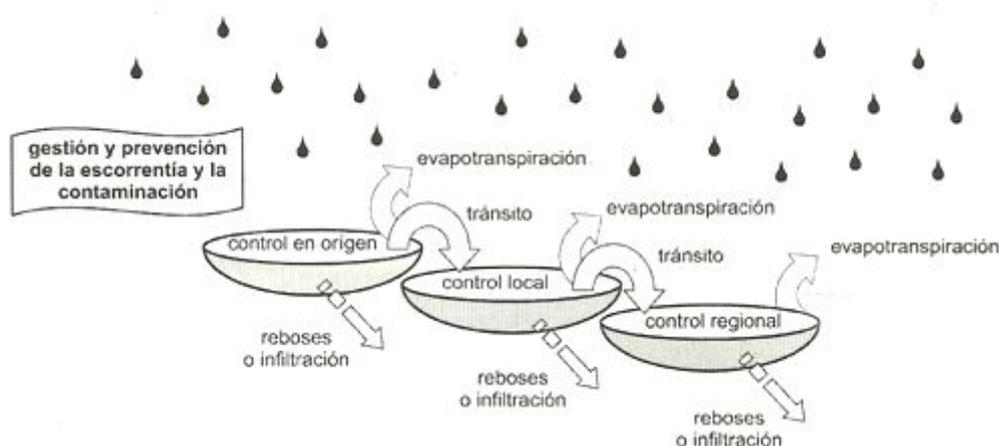
TDUS	Categoría del impacto		
	Químico	Físico	Ecológico
Estanques de retención	Reducción de las concentraciones de sólidos en suspensión, fósforo, nitrógeno (incluido los nitratos) y metales.	Poco efectivos para controlar impactos sobre cauces por aumento de la escorrentía. Incluso pueden incrementar los caudales punta. Sin capacidad para recarga acuíferos.	Disminución de la concentración de bacterias. No proporciona protección a macrovertebrados y puede provocar daños a peces de aguas frías por impactos térmicos.
Humedales	Reducción de las concentraciones de sólidos en suspensión, fósforo y nitrógeno (incluido los nitratos).	Poco efectivos para controlar impactos sobre cauces Sin capacidad para recarga acuíferos.	Puede provocar daños a peces de aguas frías por variaciones térmicas.
Estanques de infiltración	No hay apenas información al respecto.	Control de caudales. Reducen el volumen de escorrentía. Efectivos en las recargas de acuíferos.	No hay apenas información al respecto.
Zanjas de infiltración	Reducción de las concentraciones de sólidos suspendidos, fósforo, nitrógeno (incluido los nitratos) y metales.	Efectivos en las recargas de acuíferos.	Disminución de la concentración de bacterias.
Pavimentos porosos y modulares	Reducción de las concentraciones de sólidos suspendidos, fósforo, nitrógeno (incluido los nitratos) y metales.	Efectivos en las recargas de acuíferos (70%-80% de la escorrentía anual).	No hay apenas información al respecto.
Zonas de biorretención	Eliminación del fósforo total, nitrógeno, amonio, DQO, metales y aceites.	Pueden proporcionar control de calidad de aguas, protección frente a erosiones y frente a inundaciones.	Eliminación de concentraciones bacterianas.
Canales de césped	Reducción de las concentraciones de sólidos en suspensión, fósforo, nitrógeno (incluido los nitratos) y metales.	Reducen el caudal punta en pequeños sucesos. Efectivos en las recargas de acuíferos.	Disminución de la concentración de bacterias
Zanjas vegetales filtrantes	Reducción de las concentraciones de sólidos en suspensión, fósforo, nitritos, nitratos y metales.	Reducen el caudal punta en pequeños sucesos. Efectivos en las recargas de acuíferos y aunque no tienen capacidad para laminar sucesos grandes, sí que pueden emplearse como sistemas de detención fuera de línea.	No hay apenas información al respecto.
Filtros de arena	Reducción de las concentraciones de sólidos en suspensión, nitrógeno (incluido los nitratos), metales y bacterias.		
Filtros compuestos	Reducción de las concentraciones de sólidos en suspensión y nitrógeno (incluido los nitratos).	En muy limitados casos contribuyen a la recarga de acuíferos. No protegen contra erosión en cauces y llanuras.	No hay mucha información al respecto pero se sabe que no contribuyen en la prevención de la degradación biológica de cauces y llanuras
Filtros perimetrales	Reducción de las concentraciones de sólidos suspendidos, nitrógeno (incluido los nitratos) y metales.		
Filtros superficiales y verticales	Reducción de las concentraciones de sólidos en suspensión, nitrógeno (incluido los nitratos), metales y bacterias.		

- Control regional/local:

La tipología del método estructural a seleccionar está completamente supeditada a la clase de explotación prevista. En el caso de que se requiera un control a nivel regional de las aguas de escorrentía, las técnicas empleadas serán aquellas capaces de tratar un mayor volumen de agua, como es el caso de humedales o de estanques de detención. En cambio si las aguas de escorrentía corresponden a áreas más limitadas en tamaño las técnicas a emplear serán otras como las cunetas verdes o las zanjas filtrantes.

Las técnicas de control local o lo que es lo mismo, control in situ, son las más usadas ya que son de más sencilla aplicación. Pero han de planificarse con una visión de conjunto para poder cuantificar el efecto global que tendrán.

Las estrategias de control regional se aplican para cuencas de 25-250 hectáreas, no son tan sencillas de utilizar como las locales, tienden a incrementar la temperatura del agua vertida, son más caras y requieren de una planificación técnica avanzada. A pesar de ello cuentan con varias ventajas frente a las técnicas de control in situ como son: compatibilidad con zonas de recreo, económicamente son más rentables y que se pueden emplear sistemas de desagüe con varias zonas para regular y tratar los sucesos menos energéticos pero más frecuentes.



- Factores intrínsecos al medio receptor:

Como nota aclaratoria indica que, las masas de agua fría son aquellas aptas para la vida de salmónidos y los cauces sensibles son los que poseen una elevada biodiversidad, calidad de agua o están en zonas sin urbanizar.

TDSUS	Masas de agua fría	Cauces sensibles	Protección de acuíferos	Protección de embalses y lagos	Playas y zonas de cultivo marinas
Estanques y humedales	Uso restringido por los impactos térmicos, aunque se pueden emplear diseños fuera de línea para minimizar el impacto.	Diseñar con volúmenes y tiempos de vaciado para proporcionar protección frente a la erosión de los mismos.	Empleo de geotextiles y de láminas impermeables. Pretratamiento del 100% del agua de escorrentía contaminada.	Controlar la erosión de cauces y llanura. Proporcionar tiempos de retención elevados para favorecer la eliminación de nutrientes y bacterias.	Emplear sistemas de retención con volumen permanente para incrementar la eliminación de bacterias y nutrientes.
Sistemas de infiltración	Válida	Válida	Requiere perímetros de protección para pozos y zonas sensibles.	Requiere distancias de seguridad para nivel freático y cimentaciones en roca.	Necesita de protección con el nivel freático.
Biofiltros vegetales	Válida	Adecuados. Se debe proporcionar protección frente erosión de cauces.	Válida	Válida	Válida. Poca reducción de bacterias.
Filtros de arena	Válida para pequeños volúmenes.	Válida	No apta para la recarga de acuíferos.	Válida para tratar el volumen de calidad del agua.	Válida. Tasas de eliminación de bacterias intermedia.

- Factores físicos:

TDSU		Suelo	Nivel freático	Área de drenaje	Pendiente	Carga hidráulica
Estanques	Secos	Los suelos granulares demandan impermeabilización de fondo y laterales.	1,2 metros	-	15% max.	1,8-2,5 metros
	Húmedos			10 ha. min.		
Humedales		Los suelos granulares demandan impermeabilización de fondo y laterales.	1,2 metros	10 ha. min	8% max.	1-1,5 metros
Infiltración	Zanja	Permeabilidad mínima de 12 mm/hora.	1,2 metros (0,6 m para zonas planas)	2 ha. min	15% max.	0,3 metros
	Estanque			5 ha. min		
Biofiltros vegetales	Biorretención	Usan suelos mezclados in situ	-	1 ha. min	6% max.	
	Canales de césped		0,6 metros	2 ha. min	4% max.	
	Zanja filtrante		-	-	6% max.a	-
Filtros	Arena	Sin problemas	0,6 metros	5 ha. min	-	1,5 metros
	Perimetrales			1 ha. min		0,7-0,9 metros
	Subterráneos			1 ha. min		1,5-2,2 metros

- Factores relacionados con el uso del suelo:

TDSU		Adecuación a los distintos usos del suelo				
		Rural	Residencial abierto	Carreteras y autopistas	Comercial/urbano denso	Urbano muy denso
Estanque	Seco	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
	Húmedo	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Humedales		Alta	Alta	Media	Media	Baja
Infiltración	Zanja	Media	Media	Alta	Alta	Media
	Pozo de infiltración	Media	Alta	Alta	Media	Media
	Estanque	Media	Media	Media	Media	Media
	Pavimentos porosos y modulares	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Biofiltros vegetales	Biorretención	Media	Media	Alta	Alta	Alta
	Canales vegetales	Alta	Media	Alta	Media	Media
	Zanja filtrante	Media	Media	Media	Baja	Baja
Filtros	Arena	Baja	Media	Alta	Alta	Alta
	Perimetrales	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
	Subterráneos	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
	Orgánicos	Baja	Media	Alta	Alta	Alta

- Factores socio-ambientales:

TDUS		Mantenimiento	Aceptación de la comunidad	Coste	Calidad hábitat del	Otros factores
Estanques	Seco	Sencillo	Media	Bajo/medio	Baja/media	Pueden aparecer problemas con basuras y sedimentos.
	Húmedo	Medio	Alta	Alto	Alta	
Humedales		Medio/alto	Media	Medio/alto	Alto	Profundidad limitada
Infiltración	Zanjas	Alto	Alta	Alta	Bajo	Limpiezas frecuentes
	Estanques	Medio	Baja	Medio	Bajo	
Biofiltros vegetales		Bajo/medio	Alto	Medio	Medio	Adecuado para LID
Filtros vegetales		Alto	Media/alta	Alta	Bajo	-

- Capacidad para gestionar las aguas de escorrentía urbana:

*: Requiere de un Pretratamiento previo que elimine hidrocarburos y metales pesados.

** : Requiere de una impermeabilización del sistema que impida infiltraciones.

B: Implica la eliminación de más de 30% del Nitrógeno, más del 60% de los metales y el 70% de las bacterias.

R: Implica una eliminación del nitrógeno entre el 15-30%, de los metales entre 30-60% y de las bacterias entre el 35-75%.

M: Implica una mala eliminación de contaminantes, siendo inferior al 15% en el caso de nitrógeno, al 30% en el caso de metales y al 35% en el caso de las bacterias.

TDSU		Precipitación			Protección de cauces	Control de caudales punta	Recarga acuíferos	Aceptación de aguas contaminadas	
		Volumen de calidad	Nitrógeno	Metales					Bacterias
Estanques	Detención	NO	-	-	-	SÍ	SÍ	NO	NO
	Retención	SÍ	B	B	B	SÍ	SÍ	NO	SÍ*
Humedales		SÍ	B	R	B	SÍ	SÍ	A veces	SÍ*
	Zanjas de infiltración	SÍ	B	B	B	NO	NO	SÍ	NO
Infiltración	Pozo de infiltración	SÍ	B	B	B	NO	NO	-	NO
	Estanque infiltración	SÍ	B	B	B	NO	NO	SÍ	NO
	Pavimentos porosos	NO	B	R	Sin datos	-	A veces	SÍ	SÍ
	Pavimentos modulares	NO	B	B	Sin datos	-	A veces	SÍ	SÍ
Biofiltros vegetales	Cuneta seca	SÍ	B	B	R	NO	NO	SÍ	SÍ**
	Cuneta húmeda	SÍ	R	B	M	NO	NO	NO	NO
	Zona biorretención	SÍ	B	B	R	A veces	NO	SÍ	SÍ**
	Zanjas vegetales filtrantes	NO	R	R	Sin datos	NO	NO	NO	SÍ**
Filtros	Superficiales	SÍ	B	R	R	A veces	NO	A veces	SÍ**
	Perimetrales	SÍ	B	R	R	A veces	NO	NO	SÍ**
	Subterráneos	SÍ	B	R	R		NO	NO	SÍ**
	Orgánicos	SÍ	B	Sin datos	R	A veces	A veces	A veces	SÍ**

Criterios Daywater para la evaluación del diseño y funcionamiento

Daywater es un grupo de investigación dedicado a temas del agua incluido dentro del Quinto Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Unión Europea.

En su publicación “Criteria Relevant to the Assessment of BMP Performance” propone una serie de tablas para realizar un análisis multicriterio que ayude a los proyectistas a evaluar la importancia relativa de los factores que influyen específicamente sobre el uso de las técnicas de drenaje urbano sostenible dentro de los SUDS. Dichas tablas son las siguientes:

- Características del emplazamiento:

Indicadores primarios	Indicadores secundarios	Índices de referencia	Valores umbral /unidades
Área	Características de drenaje	· Porcentaje de área de contribución impermeable	· %
		· Diseño de volúmenes pluviales	· m ²
		· Espacio disponible para dar cabida a una o varias TDSU	· m ³ /ha
		· Periodos de retorno de la escorrentía	· m ³ /ha/hora
		· Medio receptor del agua	· Río, mar, lago
	Restricciones físicas	· Gradiente del lugar	· % ratio
		· Nivel freático	· m
		· Potencial de cargas excesivas de sedimentos en la construcción	· mg/l
Características del suelo y subsuelo	Capacidad de infiltración/ protección de acuíferos	· Tipo de suelo	· Conductividad hidráulica (m/s)
		· Ratios de infiltración	· mm/hora
		· Volumen de almacenamiento en zonas no-saturadas	· m ³ /ha
		· Cobertura vegetal	· ninguna/césped/árboles
	Estabilidad del suelo	Problemas de subsidencia/deslizamiento del suelo	· hay/ no hay
	Terremotos	Riesgo sísmico	· Escala Richter

- Criterios científicos y tecnológicos:

Indicadores primarios	Indicadores secundarios	Puntos de referencia	Valores umbral/unidades
Sistema de rendimiento	Almacenamiento de la escorrentía y control de inundaciones	· Diseño de los volúmenes de almacenamiento en función de tormentas a diferentes periodo de retorno	· m ³ /ha
		· Duración de los periodos secos	· días
		· Duración de tormentas históricas	· m ³ /ha/hora
		· Proporción de almacenamiento de contribución del área de drenaje	· ratio
		· Número de las inundaciones anuales	· 1.....n
		· Frecuencia y duración de los desbordamientos	· 1.....n
		· Tasa de descarga	· m ³ /ha
		· Distribución uniforme del flujo	· Alta/media/baja
	Tratamiento de la calidad del agua	· Probabilidad de que una determinada concentración de contaminantes exceda de unos valores objetivo fijados	· %
		· Captura potencial del “first-flush” (10/15 mm es el valor efectivo de tratamiento de todas las tormentas)	· mm
		· % contaminantes recalcitrantes capturados	· %
Flexibilidad, adaptabilidad y potencial para la reutilización	Capacidad para cambiar con el tiempo	· Diseño preparado para cambios de almacenamiento y de calidad del agua	· %: m ³ /tiempo de funcionamiento
		· Facilidad de adaptación y modificación	· -
		· Costos de la adaptación y de los posibles ajustes externos de las estructuras	· Coste medio (euros)
		· Potencial para reciclar componentes del sistema/ aguas contaminadas	· Alta/media/baja
Impacto sobre el sistema de drenaje	Integración en el sistema existente	· Reducción del flujo de CSO	· %: m ³
		· Reducción de los flujos de aguas pluviales	· %: m ³ /ha

- Criterios de operatividad y mantenimiento:

Indicadores primarios	Indicadores secundarios	Puntos de referencia	Valores umbral /unidades
Integridad del sistema	Rendimiento de la integridad, salud y seguridad	- Tiempo de retención hidráulico	- Horas
		- Condiciones de calidad y riesgos para la salud en cuencas	- Microbiología, estado trófico de las aguas,...
		- Alarma/procedimiento de intervención.	- Sí/no
		- Nivel de seguridad y de previsión de contaminación accidental.	- Alta/media/baja
		- Número de quejas por contaminación de las aguas receptoras.	- Número/año
	Riesgo en la gestión	- Probabilidad de fallo del sistema	- % probabilidad
		- Consecuencias de que la tormenta exceda de la capacidad de diseño	- Calado de la lámina de inundación (m)
Durabilidad del sistema	Vida del diseño	- Tiempo de vida operacional	- Años
		- Tasa de sedimentación y volumen de almacenamiento	- m ³ /año; % reducción en volumen de almacenamiento/año
		- Robustez del sistema	- Alta/media/baja
Mantenimiento y Prestación de servicios	Requerimientos de operación y mantenimiento	- Necesidad y frecuencia de operación y mantenimiento a nivel: técnico-ambiental de equipamiento y de hábitat	- Alta/media/baja /frecuencia /año
		- Riesgo en el mantenimiento de la seguridad operativa del sistema	- Alto/medio/bajo
		- Presencia in situ de herbicidas pesticidas/ productos químicos de deshielo	- Tipo y cantidad (concentración/año)
		- Eliminación de los sedimentos	- m ³ /año
		- Plantas de reemplazo en los humedales construidos	- frecuencia del reemplazamiento/año
		- Riesgo de presencia de basuras	- Alta/media/baja
		- Riesgo de que los agentes sociales pierdan el interés que generan problemas de operación y mantenimiento	- Alto/medio/bajo

- Criterios ambientales:

Indicadores primarios	Indicadores secundarios	Puntos de referencia	Valores umbral/ unidades
Impacto sobre el volumen de agua	Inundaciones	- Periodos de inactividad	- Horas
		- Erosión aguas abajo	- -
		- Recarga de acuíferos	- m ³ /año
		- Protección del flujo de aguas abajo	- -
Impacto sobre la calidad del agua	Control de la contaminación	- Tiempos de retención del tratamiento	- Horas/eventos de tormenta
		- Relaciones de dilución	- Porcentaje
		- Presencia de basura, sólidos gruesos, materia flotante, aceites en superficie	- Alta/media/baja
		- Clasificación del agua de recepción	- 1... n
		- Calidad del agua subterránea	- 1... n
		- Efectos térmicos	- -
		- % de cumplimiento con los estándares de protección de las aguas receptoras	- %/año
Impacto sobre los ecosistemas	Diversidad de hábitats y ecológica	- Veces de vertido en el medio hidrobiológico	- Alto/medio/bajo
		- Número de especies clave introducidas / atraídas	- 1... n
		- Plagas	- Sí/no
		- Especies invasoras no deseadas	- Sí/no
		- Estado de conservación de la biota	- Alto/medio/bajo

- Criterios sociales y urbanos:

Indicadores primarios	Indicadores secundarios	Puntos de referencia	Valores umbral /unidades
Recreo; estética; acceso y beneficios comunitarios	Inclusión social y uso multifuncional	• Nivel de la oferta de esparcimiento (pesca, navegación, recreamiento, etc.)	• Alto/medio/bajo
		• Aumento de los accesos	• Alto/medio/bajo
		• Participación de la Comunidad (servicio de guardaparques, grupos de voluntariado para la naturaleza, etc.)	• Alto/medio/bajo
		• Número de visitantes al espacio natural, etc.	• 1...n
		• Vandalismo	• sí/no
		• Percepción de los residentes del aumento de los beneficios ambientales	• % Encuestas
Información pública y concienciación ciudadana	Concienciación y sensibilización social	• Interpretación de tablas, carteles, folletos o literatura, centro de visitantes, etc.	• Alto/medio/bajo
		• Concienciación local/regional de la comunidad	• % Encuestas
		• Uso de la educación y/o técnicas de demostración en el lugar de interés	• Número de visitas; sí/no
		• Reuniones públicas / audiencias	• Número/año; sí/no
Aceptabilidad de las partes interesadas	Aceptabilidad e impactos	• Voluntad de la comunidad local a asumir gastos ambientales	• Alta/media/baja
		• Aceptación de tratamientos in situ en lugar de los sistemas de drenaje convencional	• Alto/medio/bajo
		• Nivel de voluntad de los habitantes a participar en la mejora continua del lugar	• Alto/medio/bajo
Salud y seguridad	Auditorías de Riesgos	• Preocupación de la comunidad local (posibles daños, infecciones, ahogamientos, etc.)	• Alta/media/baja
		• Auditoría técnica formal del riesgo de exposición (riesgo de inundación, riesgo para la salud, riesgo para la seguridad)	• % Encuestas
Desarrollo sostenible	Vida urbana sostenible	• Contribución a las políticas de desarrollo urbano sostenible	• Alto/medio/bajo
		• Papel en la Agenda 21	• Alto/medio/bajo
		• Papel de los Planes de Acción Biológica	• Alto/medio/bajo
		• Los beneficios adicionales ofrecidos por diferentes SDUS	• % encuestas
	Uso de los recursos	• Uso de materiales: Agregado/ hormigón/ uso del suelo y costes	• Alto/medio/bajo; €
		• Consumo de energía en la construcción, operación y mantenimiento del sistema	• kW; kW/m ³

- Criterios económicos:

Indicadores primarios	Indicadores secundarios	Puntos de referencia	Valores umbral /unidades
Coste del ciclo de vida	Inversión y gastos de funcionamiento	• Costes de diseño	• €
		• Capital	• €
		• Costes operacionales y de mantenimiento	• €/año
		• Gastos de eliminación de sedimentos	• €/año
		• Costes de desmantelamiento del sitio	• €
	Gastos de la comunidad	• Tasas de gestión de aguas pluviales	• €/año
• Tasas de mantenimiento		• €/año	
Riesgos financieros	Riesgo de exposición	• Análisis de coste-beneficio	• C:B ratio
		• Inversión riesgo de pérdidas	• Alto/medio/bajo; €
		• Recuperación del valor del lugar	• Alto/medio/bajo; €
		• Existencia de un seguro de fallo del sistema	• existe/no existe
Asequibilidad	Asequibilidad a largo plazo	• Adopción y cobertura de responsabilidad civil	• Alto/medio/bajo; €
		• Costes económicos adicionales	• €/ha
		• Ingresos del lugar de recreo	• €/año
		• Prestación de la gestión a largo plazo	• Alto/medio/bajo
Coste del suelo	Ocupación de suelo	• Coste del m ²	• €/ m ²

- Criterios legales y urbanísticos:

Indicadores primarios	Indicadores secundarios	Puntos de referencia	Valores umbral /unidades
Gestión urbana de las aguas de escorrentía	Regulación del agua de escorrentía	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de la normativa europea. • Cumplimiento de las reglamentaciones nacionales. • Cumplimiento de las normativas locales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sí/no • Sí/no • Sí/no
	Regulación de aguas que no son de escorrentía	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de la legislación relativa a: la conservación de la naturaleza; preservación del agua subterránea; la planificación urbana; los reglamentos de construcción, salud y seguridad y los códigos sanitarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Sí/no
Cuestiones de planificación y desarrollo	Conformidad con normas de edificación	<ul style="list-style-type: none"> • Número de estándares • Flexibilidad de diseño • Beneficios del tren de tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • 1...n • Alta/media/baja • Alto/medio/bajo
Adopción	Status legal	<ul style="list-style-type: none"> • Contratos vinculantes legalmente • Salud y seguridad • Operación y mantenimiento • Legislación para hacer cumplir el uso de SDUS en la propiedad privada 	<ul style="list-style-type: none"> • Sí/no • Sí/no • Sí/no • Sí/no

2.8 Problemática al implantar SUDS

Según Marleni [Marleni, 2015], la implementación de los SUDS también pueden disminuir el flujo de las aguas residuales e incrementar la concentración de contaminantes en las aguas, provocando problemas en la redes convencionales. Los parámetros de aguas residuales investigados fueron aquellos que influyen en el olor y la corrosión de las redes de saneamiento debido a la formación de sulfuro de hidrógeno. Los resultados muestran que una combinación de SUDS y tratamiento de aguas grises ha tenido un alto incremento de concentración de todos los contaminantes seleccionados. En el caso de la recogida de agua de lluvia, tuvo un menor impacto en el aumento de la concentración de contaminantes.

Se predice que las prácticas de gestión de agua residuales van a ser cada vez más utilizadas en el futuro debido a la escasez de agua potable como consecuencia del calentamiento global.

Por otra parte, la implementación de prácticas de gestión de aguas tiene impactos negativos, según los resultados de diversos estudios. Estas investigaciones han indicado que se producen alteraciones en las características del agua residual, que afectan a la deposición sólida y a las transformaciones bioquímicas en las redes de alcantarillado, lo que conduce a la degradación de las infraestructuras a través de bloqueos, olores y corrosión.

El agua dulce puede ser sustituida por varias alternativas que incluyen el tratamiento de agua de lluvia, aguas grises o aguas fecales. Entre estas tres alternativas de agua, el agua de lluvia es la fuente más aceptable para sustituir todas las demandas de agua excepto para el abastecimiento de agua de la cocina. Sustituyendo las demandas de agua de interior con agua de lluvia recogida se puede conservar hasta un 90% del agua dulce utilizada. Sin embargo, la fiabilidad de esta fuente alternativa de agua es cuestionada en algunos estudios sobre todo porque se prevé que las precipitaciones en zonas subtropicales disminuyan debido al cambio climático.

En los análisis preliminares realizados para un caso de estudio determinado se comprobó que la implantación de SUDS había aumentado la concentración de sulfuro de hidrógeno.

Importante señalar que las cargas de contaminantes en las alcantarillas no solo se obtienen de los hogares, sino también de procesos bioquímicos que ocurren en el transporte de aguas residuales. Nuevos estudios deben llevarse a cabo para analizar la formación de sulfuro de hidrógeno mediante la incorporación de contaminantes procedentes de los hogares, así como los generados por los procesos bioquímicos del alcantarillado.

3. Metodología

Después de haber realizado una investigación profunda en cuanto al estado de la cuestión utilizando artículos de revistas indexadas además de páginas web especializadas en SUDS y artículos de grupos de investigación como GITECO de la Universidad de Cantabria o la Universidad de Valencia, se pasa a establecer una metodología de estudio universal para el análisis de un terminado enclave urbano, respondiendo a lo planteado por Ana Abellán con dos preguntas fundamentales:

- ¿Son realmente efectivos estos sistemas?, es decir, ¿Tienen capacidad para gestionar la misma cantidad de agua que una red convencional?
- ¿Qué ocurriría si en una calle/barrio cualquiera de una ciudad se instalase un sistema compuesto por algunas técnicas de drenaje sostenible?

La metodología de análisis de centra en los siguientes puntos:

- **Descripción física del lugar:** área, área permeable e impermeable, pendientes en el sentido predominante de la cuenca, dimensiones generales y coeficientes de Manning para cada área permeable e impermeable. Todos estos datos se obtienen realizando medidas in situ a excepción del coeficiente de Manning cuyos valores vienen registrados en función del material con el que está construido una superficie, estos datos se pueden sacar según Ven te Chow, Hidráulica de los canales abiertos. ISBN 968-13-1327-5.
- **Descripción de la pluviometría local:** Las características de la pluviometría de una zona vienen definidas por las gráficas de precipitaciones medias y totales anuales y el régimen pluviométrico de la ciudad, dichos datos se pueden sacar de la base de datos CRU TS 3.21 o de otras fuentes como entidades que gestionen las redes de drenaje de una ciudad o provincia. A partir de dichos datos se definirá la lluvia de proyecto que es el patrón de comportamiento habitual de las lluvias en la zona de estudio. Para definir la lluvia de proyecto es necesario la obtención del Hietograma del aguacero y para ello a su vez debemos definir un periodo de retorno de dichas lluvias. El periodo de retorno se define como la probabilidad de que un evento ocurra durante la vida útil de una infraestructura. En España no existen criterios formalmente establecidos para la elección de periodos de retorno, se suele decidir en función del clima. Para climas como el Mediterráneo se suele tomar como periodo de retorno 10 años ya que se trata de un clima con precipitaciones muy cambiantes. Los niveles de protección en cuanto a periodos de retorno para redes urbanas de drenaje de aguas pluviales oscilan entre 2 y 25 años. Una vez establecido el periodo de retorno se realizará el Hietograma de aguacero que representa la distribución de la intensidad de la lluvia durante la duración de un evento determinado en un periodo de retorno definido.

El Hietograma se obtiene a partir de los datos obtenidos de las curvas IDF utilizando el método de bloques alternos. Una vez obtenido el Hietograma se mira la intensidad de lluvia para una hora, y esa es la precipitación de proyecto que utilizaremos para el cálculo.

- **Otros factores hidrológicos:** como mínimo se deben tener en cuenta pérdidas por evaporación, infiltración y almacenamiento en superficie. Dichos datos son difíciles de cuantificar y se suelen tomar valores aproximados. Para cuencas pequeñas, no se tienen en cuenta los valores de evaporación ya que son despreciables. Se suelen simular en el programa a partir de un valor diario. En cuanto a la capacidad de infiltración de un terreno depende del tipo de suelo existente, topografía, pendiente, grado de humedad previo, índice de porosidad, nivel freático... etc. Se suelen utilizar las tablas del US-EPA, 2005 "*Manual Usuario SWMM5.0 ve. Modelo de Gestión de Aguas Pluviales*". Y los datos de almacenamiento en superficie se sacan del manual "*Curso de Análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado*" de Manuel Gómez (2007).
- **Técnicas de drenaje utilizadas:** los criterios de selección de los sistemas a utilizar vienen definidos según las tablas de CEDEX, CIRIA y DAYWATER anteriormente expuestas. Los criterios más utilizados son: según las características físicas del suelo, el uso del suelo, factores ambientales y sociales, capacidad de reducir escorrentía superficial, rendimiento de la calidad de las aguas y factores intrínsecos al medio receptor.
- **Software utilizado:** El programa generalmente utilizado es el de la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente): SWMM 5.0.002 (Storm Water Management Model) empleado a nivel mundial para analizar y diseñar redes de drenaje convencionales y otros tipos de drenaje como los SUDS. Algunas de sus capacidades se resumen en:
 - Trabaja con precipitación variables en tiempo y espacio.
 - Simula procesos de evaporación, acumulación, derretimiento de nieve e interceptación por encharcamiento.
 - Simula la infiltración y la entrada del agua en acuíferos.
 - Contabiliza el intercambio de flujo entre los acuíferos y el sistema de transporte.
 - Simula la escorrentía superficial.
 - Computa el aporte de escorrentía superficial entre subcuencas.
 - Permite introducir en el estudio, técnicas de drenaje sostenible como técnicas de desarrollo de bajo impacto y contabilizar la influencia de los mismos en la escorrentía.

La entrada de datos se realiza mediante ventanas desplegadas.

- **Análisis de resultados:** Se analizarán los datos de escorrentía superficial, caudales punta, coeficientes de escorrentías e infiltraciones según se haya utilizado SUDS o no.

Se ha optado por analizar dos casos prácticos de escalas muy diferentes que se sitúan en España, concretamente en Barcelona y Sevilla, con el objetivo de explicar mejor la aplicación de la metodología propuesta. Los datos están dados por los autores de cada caso de estudio, en el caso de Barcelona por la ambientóloga especialista en ingeniería hidráulica Ana Abellán y en el caso de Sevilla por Aqua-Riba. En ambos casos compararé y analizaré los resultados.

La elección de los casos de estudios en Sevilla y Barcelona viene motivado por su climatología cambiante en cuanto a precipitaciones. Teniendo en cuenta que el uso de SUDS no es muy convencional en España debido sobre todo a la desconfianza que se tiene de estos sistemas para climas como el Mediterráneo, es interesante ver en ambos casos, la metodología que siguen, las técnicas que utilizan y la eficacia de los mismos.

3.1 Diagonal. Barcelona

Introducción y objetivo

A continuación vamos a ver el caso de estudio realizado por Ana Abellán, ambientóloga experta en Ingeniería Hidráulica, el cual se realiza como respuesta a dos preguntas expuestas anteriormente.

Hay que puntualizar que estos sistemas no gestionan el agua de igual manera que un sistema convencional puesto que la escorrentía generada para un episodio pluviométrico determinado se reduce debido a infiltraciones, por lo tanto se disminuye la escorrentía total a gestionar.

Como se puede ver en la **Figura 33**, se decide coger un pequeño tramo de la Avenida Diagonal de Barcelona y con el programa SWMM, se calcula el agua de escorrentía generada para una precipitación determinada. Luego, con la misma cantidad de precipitación se ha vuelto a calcular la escorrentía generada, pero esta vez incluyendo en la simulación algunas técnicas de drenaje sostenibles, en el mismo punto simulado. El objetivo es ver las principales diferencias en cuanto a escorrentía, caudales punta e infiltraciones utilizando o no SUDS.



Figura 33: Área de estudio. Fuente: Ana Abellán

Programa utilizado

Se ha usado el programa de la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente): SWMM 5.0.002 (Storm Water Management Model).

Datos de partida

- **Cuenca de estudio**
 - Área total: 6018,82 m²
 - Área impermeable: 5683,6 m² (94,5% del área total)
 - Área permeable: 335,22 m² (5,5% del área total)
 - Anchura de la cuenca: 50 m
 - Longitud de la cuenca: 113,4 m
 - Pendiente: 0,73%
 - Coefficiente de Manning (n) en área impermeable: 0,012
 - Coefficiente de Manning (n) en área permeable: 0,15



Figura 34: Ámbito zona de estudio. Fuente: Ana Abellán

- **Pluviometría**

En el cálculo hidrológico hay varias formas de introducir los datos pluviométricos en el programa SWMM. Para hacer la comparativa se ha utilizado el Hietograma de bloques con los datos de CLABSA (entidad que gestiona la red de drenaje de Barcelona), ver **Figura 35**. En el estudio de SUDS, utilizar estos datos no es lo más apropiado, pero son datos de disponibilidad pública, así que para este caso, nos sirve.

En el caso de Barcelona, la precipitación promedio anual es de 628 mm. A partir de este Hietograma, la precipitación total supuestamente caída es de 72,2 mm/h, que corresponde en realidad para una duración de 55min. Precipitación que se transformará en escorrentías diferentes según si hay o no SUDS.

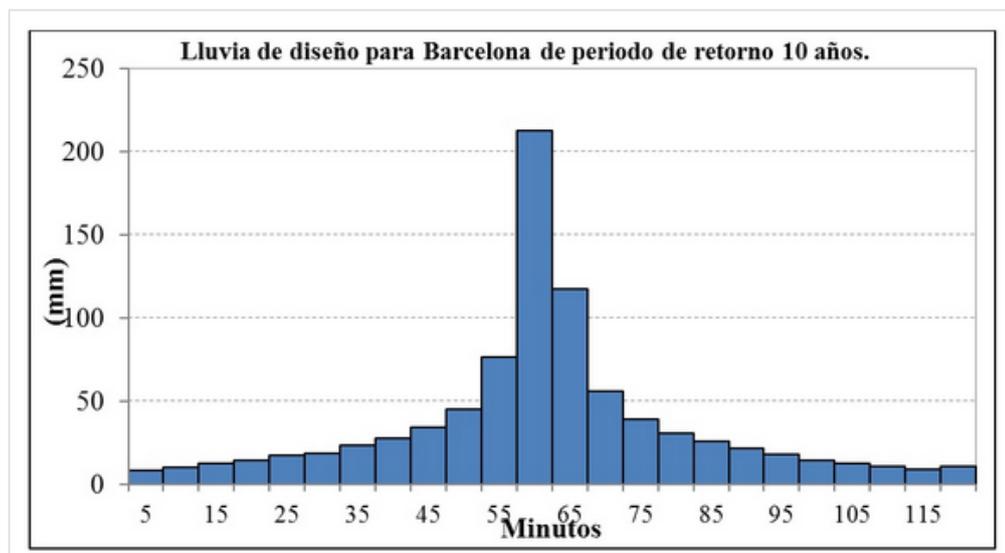


Figura 35: Hietograma de bloques alternos de una precipitación con un periodo de retorno de diez años y dos horas de precipitación para la ciudad de Barcelona. Fuente: Ana Abellán

- **Otros factores hidrológicos**

Hay que considerar pérdidas del agua de escorrentía. Restándolas a la lluvia total, es como se obtiene la lluvia neta o efectiva.

Los tipos de pérdidas considerados son:

Evaporación: para este caso de estudio no se han tenido en cuenta, ya que no son relevantes. Estas pérdidas se simulan a partir de un valor diario en el SWMM a partir de las aguas estancadas en las superficies de las cuencas.

Almacenamiento en superficie: son las producidas por almacenamiento en las depresiones del terreno. Es un parámetro de difícil estimación y se dan valores aproximados. En nuestro caso de estudio se han supuesto 1,5 mm para superficies pavimentadas y 5 mm para superficies verdes en la simulación sin SUDS, para las superficies verdes se ha supuesto 10 mm en la simulación con SUDS. Se dan valores diferentes porque en un SUDS las zonas ajardinadas han de favorecer el encharcamiento y su posterior infiltración. Datos sacados de Manuel Gómez (2007), "Curso de Análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado".

Infiltración: La capacidad de infiltración de un terreno **depende del tipo de suelo existente, la topografía, la pendiente, el grado de humedad previo, el índice de porosidad, nivel freático, entre otros factores.** El programa SWMM incluye tres modelos para estimar la infiltración: Horton, Green-Ampt y el Número de Curva del SCS. En este caso, el método escogido es el Green-Ampt y los parámetros que se han utilizado para este cálculo han sido los recomendados en las tablas del US-EPA, 2005 “Manual Usuario SWMM5.0 ve. Modelo de Gestión de Aguas Pluviales”.

Técnicas de drenaje utilizadas

Para la elección de las técnicas de drenaje sostenibles se han utilizado los criterios expuestos en el Estado del Arte, siendo los más representativos:

- La capacidad de reducir la escorrentía superficial
- Los usos del suelo.
- La presencia de un medio natural cerca.
- La tipología del suelo, pendiente y factores físicos en general.
- Los factores ambientales y sociales.
- Normativa y recomendaciones.

Como se puede ver en la **Figura 37**, las técnicas utilizadas son:

- Pavimentos porosos: continuos (PP CONT) y discontinuos (PP MOD).
- Áreas de biorretención (AB).
- Cunetas verdes (CV).

En conclusión; las aceras se han sustituido por pavimentos permeables modulares, las zonas peatonales del boulevard por pavimentos permeables continuos y las zonas verdes por áreas de biorretención y cunetas verdes, ver **Figura 36**. Lo único que no se ha considerado permeable es el asfalto por donde circula el tráfico, al tratarse de un medio más sensible a cambios.



Figura 36: Imagen izquierda: situación de partida. Imagen derecha: implantación de SUDS. Fuente: Ana Abellán.



Figura 37: Planta del área de estudio. Distinción de diferentes técnicas de drenaje urbano sostenibles.

Fuente: Ana Abellán

Se puede tomar cada técnicas de drenaje sostenible como una cuenca de pequeñas dimensiones o considerar el conjunto de técnicas dentro de una cuenca, esto último es lo que se ha simulado en el programa SWMM, dadas las pequeñas dimensiones del espacio escogido.

Con respecto a los datos iniciales de la cuenca, hay que modificar el porcentaje de suelo permeable e impermeable para la situación en la que se utilizan los SUDS, es decir:

- Suelo Impermeable: pasa de un 94,5% a un 48,35%.
- Suelo Permeable: pasa de un 5,5% a un 51,65%.

No son las únicas modificaciones que se incluyen en el apartado de la cuenca dentro del programa SWMM, pero si las más representativas.

Además, para realizar la simulación hay que definir numerosos parámetros de diferente naturaleza en función de las características de cada técnica utilizada, como sería la profundidad, relación de espacios vacíos, porosidad, punto de marchitez... etc. Los parámetros que se han sacado según [Rodríguez Hernández, 2006] y [US-EPA, 2005].

Otro factor muy importante a mencionar es que las TDUS pueden recibir agua procedente de las zonas impermeables colindantes dentro del mismo tramo de estudio, con lo que reduce la escorrentía total, es decir, no solo disminuye la generada sobre los TDUS, sino que gestiona la escorrentía generada por los suelos impermeables, ver **Figura 38**. Esto es debido a que algunos TDUS se sitúan ligeramente deprimidos de las zonas impermeables. Para estimar el % de área impermeable que tratan se ha tenido en cuenta la pendiente longitudinal de ese tramo de la calle, el bombeo de la calzada y el tipo de TDUS (solamente se ha tenido en cuenta las cunetas verdes y las áreas de retención).

TDUS	% Área que ocupa en la subcuenca	% Área impermeable que trata
Área de Biorretención	5,57	13,6
Pavimento poroso continuo	20,9	0
Pavimento poroso modular	18,6	0
Cuneta Verde	6,58	7,86

Figura 38: Técnicas de drenaje utilizadas. Fuente: Ana Abellán

Una vez establecidos todos los datos de partida, se introducen en el programa y se hace la simulación de la cuenca con SUDS y sin SUDS, posteriormente analizaremos los resultados:

Resultados y Conclusiones

La precipitación total caída usada en la simulación es de 72,2 mm, tanto para técnicas con drenaje como sin ellas. **Una de las propiedades del programa usado para realizar la comparativa es que ofrece los resultados de las técnicas de drenaje de forma independiente, ver Figura 39:**

TDUS	Caudal entrante total (mm)	Pérdidas por infiltración (mm)	Caudal superficial de salida total (mm)	Almacenamiento final (mm)
Cuneta Verde	92,11	24,72	67,49	0,00
Pavimento poroso modular	72,20	72,35	0,00	0,00
Pavimento poroso continuo	72,20	72,35	0,00	0,00
Área de Biorretención	112,85	11,65	0,00	101,36

Figura 39: Resultados calculados por el programa. Fuente: Ana Abellán

- **Pavimentos permeables:** infiltra toda el agua que cae sobre ellos, esto es así en la simulación porque se ha supuesto que funciona correctamente y que no hay problemas de colmatación. Esto en la realidad no ocurriría siempre así, al ser un caso hipotético, se supone que no van a recibir grandes aportes de agua que pudieran producir colapso.
- **Cunetas verdes:** en este caso si se produce algo de escorrentía, pero casi un 30% menos de lo que harían si no estuviesen.
- **Áreas de biorretención:** son las que menos espacio ocupan y las que más agua gestionan.

Comparación general, **Figura 40**, espacio estudiado con y sin TDUS:

	Infiltración total (mm)	Escorrentía total (mm)	Caudal pico (l/s)	Coefficiente de escorrentía
Sin SDUS	2,53	68,44	300,45	0,95
Con SDUS	44,920	21,500	75,770	0,298
Variación	94,37%	68,59%	74,78%	68,57%

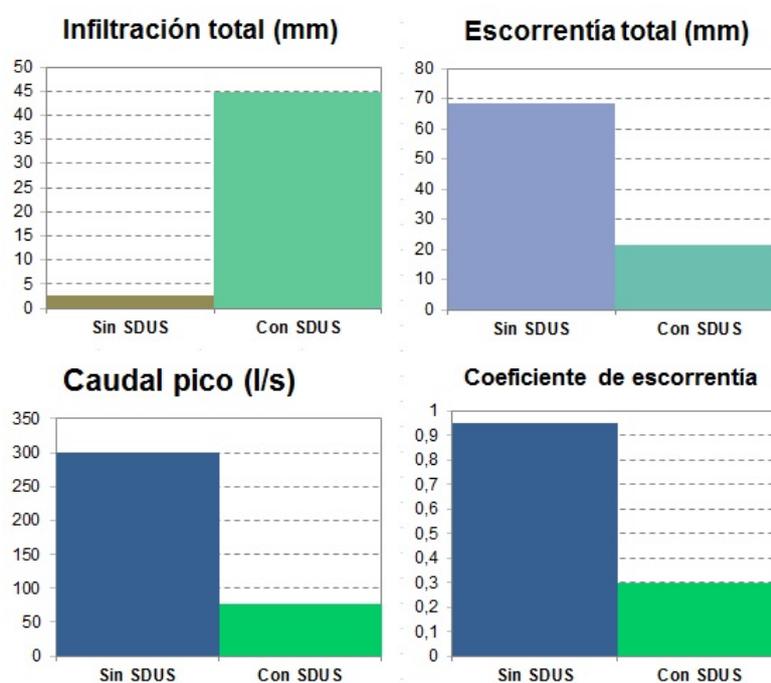


Figura 40: Comparativa de resultados con y sin SUDS. Fuente: Ana Abellán

En **conclusión**; si comparamos los resultados con y sin SUDS para una misma cantidad de lluvia precipitada en una misma área de estudio, la infiltración aumenta de forma notable y como consecuencia directa de esto el caudal y la escorrentía sufren un fuerte descenso. Esto es debido a un importante aumento en la permeabilidad del suelo.

Hay que tener en cuenta que se trata de una simulación, no de una realidad, haría falta una investigación acerca del funcionamiento conjunto de las diferentes técnicas para dar unos valores más concisos de las tasas reales de reducción de caudal.

En ningún caso los valores utilizados son obtenidos in situ, por lo que pueden no coincidir con la realidad, aunque sean valores genéricos válidos.

Lo que sí apunta este estudio es a una notable mejoría respecto a la situación actual por la presencia de técnicas de drenaje sostenible, quizá las reducciones de caudal y volumen sean menores o mayores, pero estas disminuciones se producirían y no solamente en lo relativo a la cantidad de agua, sino también en lo que respecta a cantidad de contaminantes.

3.2 Barrio de las Huertas. Sevilla

Introducción y objetivo

Una vez realizado el análisis del caso de estudio anterior en Barcelona, se da un salto de escala importante, analizando el caso de estudio que ha llevado a cabo el grupo de investigación Aqua-Riba. Uno de los objetivos de esta investigación es ver los efectos que tiene la implantación de TDUS en una escala más urbana como es la Barriada de las Huertas, ver **Figura 41**.

Se pretende que mediante la incorporación de procesos de filtración, infiltración evapotranspiración y reutilización, la cuenca urbana estudiada se comporte lo más parecido posible a su estado natural.

El objetivo principal de este caso de estudio es evaluar las posibilidades de inserción de los SUDS en ámbitos de regeneración urbana en Andalucía. Detectando los espacios del barrio con mayor peso en la generación de escorrentía, es decir, aquellos con superficies más impermeables. Así como disminuir los caudales punta y la escorrentía superficial. Se comparará los datos obtenidos implantando TDUS con el estado actual sin TDUS.



Figura 41: Área de estudio. Fuente: Google Earth

Programa utilizado

No especificado.

Datos de partida

- **Cuenca de estudio**
 Área total: 67883 m²
 Área impermeable: 47598,6 m² (70% del área total)
 Área permeable: 20284,4m² (30% del área total)
 Anchura de la cuenca: 110 m
 Longitud de la cuenca: 617 m
 Pendiente: no especificado.
 Coeficiente de Manning (n) en área impermeable: 0,012
 Coeficiente de Manning (n) en área permeable: 0,15



Figura 42: Ámbito zona de estudio. Fuente: Google Earth

- **Pluviometría**

Las características de la pluviometría de la zona vienen definidas por las gráficas de precipitaciones totales anuales y el régimen pluviométrico mensual de la ciudad.

En el caso de Sevilla, la precipitación promedio anual es de 542 mm. Para definir totalmente una lluvia de proyecto, es necesaria la obtención de un hietograma de aguacero. Teniendo en cuenta la variación del clima donde nos situamos, al igual que en el caso de Barcelona, se decide asumir un periodo de retorno de 10 años. Por tanto, la precipitación total supuestamente caída para ese periodo de retorno es 39,5 mm/h, como se puede ver en la **Figura 43**.

Periodos de retorno	Precipitaciones máximas en 10 min	Precipitaciones máximas en 1 h	Precipitaciones máximas en 24 h
500 años	37.4 mm	78.8 mm	184 mm
100 años	30.2 mm	62.8 mm	147.2 mm
50 años	27.1 mm	55.8 mm	131.3 mm
25 años	24 mm	48.8 mm	115.3 mm
10 años	19.8 mm	39.5 mm	93.8 mm
5 años	16.4 mm	32.1 mm	76.7 mm

t (min)	i (mm/h)	P (mm)	Incremento P
10	86,96	14,78	14,78
20	67,56	22,97	8,19
30	55,29	28,20	5,23
40	46,82	31,84	3,64
50	40,61	34,52	2,68
60	35,87	36,59	2,06

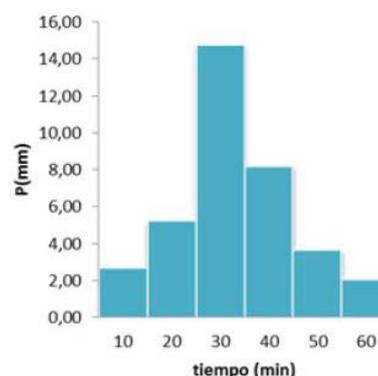


Figura 43: Periodos de retorno e Hietograma de bloques alternos para un periodo de 10 años. Fuente: Aqua-Riba

- **Otros Factores Hidrológicos**

Hay que considerar pérdidas del agua de escorrentía. Restándolas a la lluvia total, es como se obtiene la lluvia neta o efectiva.

Los tipos de pérdidas considerados son:

Evaporación: no se especifica si se han tenido en cuenta. Estas pérdidas se simulan a partir de un valor diario, a partir de las aguas estancadas en las superficies de las cuencas.

Almacenamiento en superficie: son las producidas por almacenamiento en las depresiones del terreno. Es un parámetro de difícil estimación y se dan valores aproximados. En este caso de estudio no se comenta ningún tipo de estimación con respecto a este parámetro.

Infiltración: La capacidad de infiltración de un terreno depende del tipo de suelo existente, su topografía, la pendiente, el grado de humedad previo, el índice de porosidad, nivel freático, el espesor del suelo existente, entre otros factores. En este caso, para conocer las características del suelo se tomó como referencia el estudio geotécnico realizado por Vorsevi en 2007.

En el estudio geotécnico se ve: una **capa superficial de relleno de entre 3 y 5.4 m similar a una mezcla de grava arena** y una capa inferior de arcilla limosa rojiza (media) que además protege el acuífero situado debajo en la capa de grava. El nivel freático de sitúa entre 5,30-9,90 m. **Podemos concluir que nuestra capa de relleno es un suelo apto para dispositivos de infiltración. Ver Figura 44.**

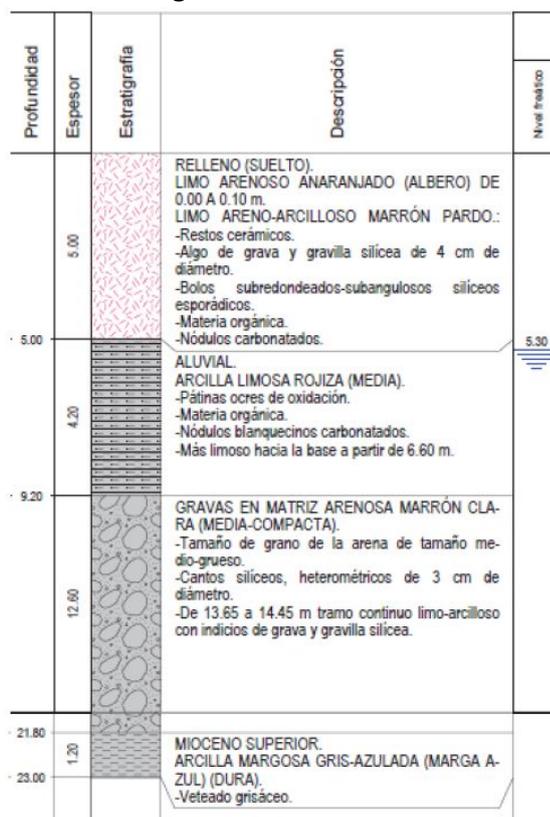


Figura 44: Informe Geotécnico. Fuente: Vorsevi

Técnicas de drenaje utilizadas

En la siguiente tabla, **Figura 45**, se puede observar los diferentes tipos de superficies de la zona de estudio así como la cuantificación de la escorrentía superficial, incorporando los ajustes realizados con algunos coeficientes de escorrentía. Además, **nos encontramos con que las superficies de los pavimentos más impermeables (asfaltos, pavimentos de cemento y cubiertas) concentran el 96% de escorrentía superficial.**

TIPO DE ACABADO	SUP. (m2)	%	COEF. ESC.	PRECIP. (mm/año)	ESCORR. (m3/año)	TOTAL
ASFALTO (azul)	16179,19	23,83	0,85	541,87	7451,97	15464,66
PAV. CEMENTO (gris)	18483,90	27,23	0,80	541,87	8012,70	
CUBIERTAS EDIF. (rojo)	11277,59	16,61	0,65	541,87	3972,14	
CUBIERTAS PATIOS (naranja)	1455,11	2,14	0,65	541,87	512,51	4484,65
ALBERO (amarillo)	15612,43	23,00	0,10	541,87	845,99	
CAUCHO (caldera)	203,00	0,30	0,23	541,87	25,30	
TIERRA VEGETAL (marrón)	3309,74	4,88	0,05	541,87	89,67	
JARDINES (CÉSPED...) (verde)	1362,44	2,01	0,02	541,87	14,77	975,73
TOTAL	67883,40	100,00	0,57		20925,04	

Figura 45: Datos de superficies en la zona de estudio. Fuente: Aqua-Riba

Para adecuar las propuestas a la configuración de la actual red de drenaje y saneamiento, se ha realizado un análisis de la misma y ha sido estructurada por subcuencas.

Se identifica una serie de elementos en los que potencialmente se podrían incorporar SUDS, en función del tipo de superficie (Figura 46):

- **Asfalto (azul):** viario y aparcamientos.
- **Pavimentos de cemento (gris):** áreas peatonales, plazas y pistas deportivas.
- **Cubiertas de edificios (rojo):** solo se actuará en aquellos edificios con red separativa, lo cual supone la actuación sobre un **54% de la superficie total de las cubiertas** de la edificación.

Puntualizar que, una parte importante de las superficies impermeables no cuentan con elementos directos de evacuación al sistema de alcantarillado. A pesar de que no resulta fácil hacer una estimación exacta de cuál sería la reducción del volumen de escorrentía que se produciría, se adopta el siguiente criterio a la hora de estimar el porcentaje de superficie impermeable cuya escorrentía evacuaría por la red de alcantarillado:

- Acerados y zonas de paso: 70%
- Pistas deportivas: 0%



Figura 46: Localización de los diferentes tipos de superficie. Fuente: Aqua-Riba

Para la elección de las técnicas de drenaje sostenible se han utilizado los criterios expuestos en el Estado del Arte, siendo los más representativos:

- Función que realizan: infiltración, detención biorretención, biofiltración y retención.
- Los usos del suelo de la cuenca.
- Cantidad y calidad del agua de escorrentía.
- La tipología del suelo, pendiente y factores físicos en general.
- Exigencias ambientales y paisajísticas.
- Características del medio receptor.

A partir de aquí, las técnicas utilizadas son:

- Franjas de infiltración.
- Drenes franceses.
- Áreas de biorretención.
- Aljibes.

En resumen; las áreas peatonales se han dotado de franjas de infiltración y áreas de biorretención, en las zonas de viario y aparcamiento se han introducido drenes franceses y áreas de biorretención y para las cubiertas con bajantes separativos se plantean aljibes y áreas de biorretención. Ver **Figura 47**:



Figura 47: Inserción de técnicas de drenaje en diferentes espacios del caso de estudio. Fuente: Aqua-Riba

Con respecto a los datos iniciales de la cuenca, hay que modificar el porcentaje de suelo permeable e impermeable para la situación en la que se utilizan los SUDS, es decir:

- Suelo Impermeable: pasa de un 70% a un 69%.
- Suelo Permeable: pasa de un 30% a un 31%.

Como se puede observar, en el caso de estudio no se centran en aumentar las superficies permeables, sino en gestionar el agua de lluvia de escorrentía de las superficies impermeables.

Resultados y Conclusiones

Como resultado de la implantación de SUDS en la Barriada de Las Huertas, se obtendrían los siguientes datos, ver **Figura 48**:

- **Reducción de la escorrentía promedio anual**
Se generaría una reducción promedio del 49,9% del caudal de escorrentía, pasando de 27,65 mm/h a 13,82 mm/h.
- **Reducción de los caudales punta**
Pasando de 525000 l/30min a 275000 l/30min, es decir, de 291,66 l/s a 152,76 l/s.

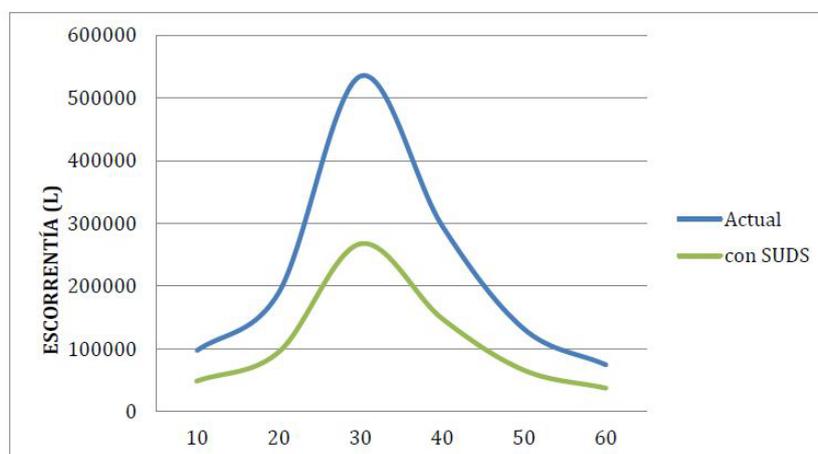


Figura 48: Hidrograma de escorrentía en área impermeables con y sin SUDS. Fuente: Aqua-Riba

- Ahorro Energético

Al no tener que someter las aguas a bombeos en la red, ni tratamiento de la EDAR, obtendríamos un ahorro de 3170,45 kWh/año.

En el cuadro siguiente (**Figura 49**) podemos ver un resumen de los resultados obtenidos:

RESULTADOS PREVISTOS_SUDS						
ELEMENTOS	SUPERFICIE (m ²)	SUDS	SUPERFICIE SUDS (m ²)	ESCORRENT. (m ³ /año)	%	COSTE €/m ³ año
ASFALTO						
TOTAL ACTUAL	16179,19			7451,97	100,00%	
A1_Aparcamiento tipo 1	2005,83	Dren+bioret.	144,50	923,86		7,82
A2_Aparcamiento tipo 2	1607,74	Dren+bioret.	134,46	740,51		8,84
A3_Aparcamiento tipo 3	1083,42	Dren+bioret.	82,98	499,01		8,73
A4_Aparcamiento tipo 4	2952,60	Dren+bioret.	223,20	1359,94		9,60
V1_Viario Avda. 28 Febrero	4646,60	Dren+bioret.	324,00	2140,18		8,56
TOTAL INFILTRADA	12296,19			5663,50	76,00%	8,74
PAVIMENTOS CEMENTO						
EFFECTIVA ACTUAL	11641,73			5046,64	100,00%	
P1_Peatonal Trasera Muro	1425,12	Zanja Infiltr.	84,00	617,78		2,86
P2_Peatonal Plazas Traseras	764,56	Bioretención	36,00	331,43		5,37
P3_Peatonal Plaza Puente	427,84	Bioretención	27,00	185,47		
TOTAL INFILTRADA	2617,52			1134,68	22,48%	4,01
CUBIERTAS EDIFICACIÓN						
TOTAL ACTUAL	12732,70			4484,65	100,00%	
E1_Cubierta Sep Edif. 1	1284,31	Bioretención	70,00	452,35		5,15
E2_Cubierta Sep Edif. 2	1081,54	Bioretención	62,50	380,94		5,35
E3_Cubierta Sep Edif. 3	912,54	Bioretención	52,50	321,41		4,75
E4_Cubierta Sep Edif. 4	1284,31	Bioretención	70,00	452,35		5,15
TOTAL INFILTRADA	4562,70			1607,05	35,83%	5,12
TOTAL	19476,41		1311,14	8405,23	49,49%	7,41

Figura 49. Fuente: Aqua-Riba.

- Componente Social

A la escala de la Barriada se produciría una **mejora de la calidad ambiental al incorporarse un total de 1311,14 m² de áreas ajardinadas**, además de disminuirse la vulnerabilidad a las inundaciones, afectando todo esto a un total de 1600 habitantes, el 100% de la población de la barriada.

A escala urbana, la disminución de la escorrentía superficial beneficia al sistema de saneamiento y por tanto de manera indirecta al conjunto de la ciudad.

Importante señalar, que está prevista la construcción de un Tanque de Tormentas en la barriada, cuyo coste en relación a su capacidad sería de 374,69 €/m³ y en función a la superficie servida de 66956,51 €/Ha.

La implantación de SUDS supondría un coste en relación a la capacidad de reducción de escorrentía de 105,51 €/m³ y en función a la superficie servida de 10394,37 €/Ha. Como podemos ver, **el coste de implementación de SUDS puede ser 3,5 veces menor en relación a volumen y hasta 6,4 veces menor en relación a superficie servida**, en comparación con infraestructuras como un tanque de tormentas.

4. Análisis Comparativo de Datos

Como se puede apreciar en la **Tabla 1**, la incorporación de SUDS en ambos casos de estudio ha supuesto una mejoría considerable en cuanto a caudal punta, escorrentía e infiltración.

Llama la atención en el caso de Barcelona que la incorporación de SUDS hace que el porcentaje de áreas permeables prácticamente se multiplique por diez, lo cual se debe fundamentalmente a la gran superficie ocupada en planta por los diferentes tipos de pavimentos permeables, que ocupan casi un 40% de la superficie total del área estudiada, ver **Tabla 2**. También se puede ver la capacidad de las cunetas verdes y las áreas de biorretención que ocupando apenas un 12% del área de estudio son capaces de gestionar un 21% de agua procedente de suelos impermeables. Por el contrario, en el caso de Sevilla, el aumento de suelos permeables apenas es apreciable lo cual se debe, como se puede ver en la Tabla 2, a que los tipos de técnicas de drenaje utilizadas son capaces de gestionar una gran cantidad de agua sin necesidad de ocupar en planta una gran superficie. El hecho de no utilizar pavimentos permeables en este caso de estudio hace que la diferencia con respecto al caso de Barcelona sea aún mayor. Como podemos observar en la Tabla 2, en ambos casos, las áreas de biorretención, que son relativamente pequeñas, son capaces de gestionar una gran cantidad de agua procedente de zonas impermeables. Y si además son apoyadas por drenes franceses la eficacia aumenta considerablemente.

El caso de Sevilla es un ejemplo, de cómo se puede introducir técnicas urbanas de drenaje sostenibles en zonas consolidadas, sin que estas ocupen un espacio excesivo y con un coste relativamente bajo. Para ello es importante hacer un análisis exhaustivo del lugar y colocar de manera estratégica las diferentes técnicas de drenaje. De hecho, en este caso, apenas ocupan un 1,93% del área total de estudio, siendo capaces de gestionar hasta un 40% del agua procedente de zonas impermeables.

Por otro lado, la escorrentía y la infiltración están directamente relacionadas, en ambos casos, a mayor escorrentía menor infiltración, debido a que el porcentaje de suelo impermeable es elevado en cada caso. Con la incorporación de SUDS la situación se invierte, debido a las razones ya comentadas anteriormente: o bien aumenta la permeabilidad del suelo o se eligen técnicas capaces de gestionar una gran cantidad de agua de suelo impermeable. La suma de la escorrentía e infiltración no da la pluviometría del proyecto, faltaría sumarle lo que se pierde por evapotranspiración que es un porcentaje mínimo.

DATOS	BARCELONA		SEVILLA	
	Sin SUDS	Con SUDS	Sin SUDS	Con SUDS
ÁREA TOTAL (M ²)	6018,82		67883,0	
ÁREA IMPERMEABLE (%)	94,5	48,35	70	69
ÁREA PERMEABLE (%)	5,5	51,65	30	31
PENDIENTES (%)	0,73		Despreciable	
TIPO DE SUELO	Rellenos		Rellenos	
PLUVIOMETRÍA DE PROYECTO (MM/H)	72,2		39,5	
ESCORRENTÍA (MM/H)	68,44	21,5	27,65	13,82
INFILTRACIÓN (MM/H)	2,53	44,92	9,85	23,65
CAUDAL PUNTA (L/S)	300,45	75,77	291,66	152,76
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	0,95	0,298	0,70	0,35

Tabla 1. Fuente: Elaboración propia

TDUS	BARCELONA		SEVILLA	
	% de área que ocupa en la subcuca	% de área impermeable que trata	% de área que ocupa en la subcuca	% de área impermeable que trata
PAVIMENTO POROSO CONT.	20,9	0	-	-
PAVIMENTO POROSO MOD.	18,6	0	-	-
CUNETAS VERDES	6,58	7,86	-	-
ÁREA DE BIORRETENCIÓN	5,57	13,6	0,47	12,11
ÁREA DE BIO. + DREN	-	-	1,34	25,87
FRANJAS DE INFILTRACIÓN	-	-	0,12	3,00
ALJIBES	-	-	0,095*	12,11*
TOTAL	51,65	21,46	1,93	40,98

Tabla 2. Fuente: Elaboración propia

*: No se ha tenido en cuenta en la suma del total ya que el agua recogida de las cubiertas van a las áreas de biorretención. Los aljibes están como segunda opción a las áreas de biorretención.

NOTA: Los datos de escorrentía, coeficiente de escorrentía, infiltración y caudal punta, en el caso de Sevilla, se han sacado de manera aproximada a partir de los datos proporcionados por la tabla de la Figura 48. Los porcentajes correspondientes al área ocupada de cada TDUS en el caso de Sevilla, así como los porcentajes de área impermeable que tratan se han sacado a partir de los datos aportados por la Tabla de la Figura 49.

5. Conclusiones

De manera general, podemos concluir que las investigaciones realizadas tanto a nivel nacional gracias al grupo de investigación GITECO de las Universidad de Cantabria como a nivel internacional, han comprobado que los SUDS son sistemas que se muestran como elementos eficientes en cuanto al control-reducción de los caudales punta, las escorrentías y los principales contaminantes. Además de ofrecer un servicio social y ambiental importante creando entornos naturales, mejorando la calidad estética de las ciudades y ayudando a recargar los acuíferos mediante infiltraciones a través del terreno. Por otro lado, la reducción de caudales punta evita la descarga excesiva de agua en redes convencionales, el colapso de las mismas, así como la reducción del coste de mantenimiento de las depuradoras.

La investigación que se está llevando a cabo en cuanto a la posibilidad de que determinadas técnicas de drenaje sean capaces de producir energía es por otro lado una ventaja más a destacar. Así como la posibilidad de utilizar materiales reciclados o el compost.

Se ha demostrado su buen funcionamiento en países con condiciones pluviométricas muy diferentes (constantes o variables) como por ejemplo Reino Unido, Alemania, Estados Unidos o Australia, estos dos últimos con una climatología bastante parecida a la española, lo cual demuestra que debemos confiar más en estos sistemas. La desconfianza en cuanto su eficacia en climas como el Mediterráneo ha llevado a que las experiencias en España sean escasas.

A ello hay que sumarle la inexperiencia del sector de la construcción a la hora de ejecutarlas. Las simulaciones llevadas a cabo tanto en Sevilla como en Barcelona demuestran una vez más que estos sistemas de drenaje también pueden ser eficaces y viables en situaciones de climas como el Mediterráneo, en cuanto a gestión del agua y coste de construcción.

Como hemos podido ver en el caso de estudio de las Huertas en Sevilla, se tratan de sistemas relativamente baratos de implantar en comparación con sistemas tradicionales como pueden ser los tanques de tormenta. Además en este mismo caso de estudio, se ha comprobado la facilidad de implantación de estos sistemas en zonas urbanas ya consolidadas, ocupando un espacio absolutamente despreciable y tratando una gran cantidad de agua proveniente de superficies impermeables.

La metodología propuesta permite el análisis de enclaves y situaciones concretas, llegándose a la conclusión de que en general los SUDS se pueden implantar en muchas situaciones diferentes debido a la gran variedad de sistemas que hay tanto de captación, transporte y almacenamiento, cada cual con características muy distintas. Siempre y cuando se tengan en cuenta los criterios de diseño según las tablas de CIRIA, CEDEX Y DAYWATER.

Es posible que la implantación de SUDS esté mucho más limitada en zonas industriales en un entorno con una gran carga contaminante o en zonas periurbanas donde el porcentaje de suelo permeable e impermeable sea parecido, no teniendo tanto sentido utilizar estos sistemas ya que el ciclo del agua no se ha modificado demasiado debido a la urbanización.

En todo caso, los Sistemas de Drenaje Sostenibles parecen mostrarse como una alternativa de presente y futuro en cuanto a la gestión eficiente del agua, una gestión que debe llegar a la consciencia de las personas, evitando su derroche innecesario. No obstante es importante investigar más aun, sobre los problemas que causan a las redes de saneamiento convencionales, en cuanto a temas como el aumento del olor y la corrosión.

Es posible que con el tiempo, la ejecución de casos reales y las experiencias en España de pequeña y mediana escala, algunos de estos inconvenientes dejen de serlo.

6. Ideas para ampliar el trabajo

Después de haber realizado esta investigación que me ha ayudado a tener una visión más amplia del problema de gestión de las aguas, me gustaría ampliar el trabajo en un futuro tratando dos temas fundamentalmente:

Por un lado, realizar una investigación a escala urbana de la capacidad y eficiencia de estos sistemas de drenaje para cuencas con un tamaño considerable, continuando de esta manera, la línea de análisis comparativo que he iniciado mediante las dos escalas ya analizadas, es decir, la escala "calle" (Barcelona) y la escala "barrio" (Sevilla). Esa investigación a escala urbana podría tener especial interés particularmente en áreas de ocupación irregular, es decir, en lugares donde se ha ido ocupando el territorio sin una urbanización planificada, espacios que normalmente no tienen redes de alcantarillado, produciéndose inundaciones en épocas de lluvia. Además, en un análisis a esta escala, podríamos sacar conclusiones como por ejemplo, como saldría el dimensionado de las redes de alcantarillado convencionales (que recogen las aguas residuales) teniendo en cuenta los sistemas de drenaje urbano sostenibles.

Por otro lado, parece lógico afrontar la investigación acerca de las posibles soluciones con respecto al tratamiento de las aguas negras. Ya que, como se ha comentado en el Estado del Arte, la utilización de SUDS y el reciclaje de aguas grises provocan un considerable aumento del olor y la corrosión en las redes convencionales, pudiéndose producir problemas de carácter sanitario por el aumento de la contaminación en dichas redes. Si se encontrase algún tipo de solución a este tipo de aguas, como podría ser un pretratamiento en los propios edificios antes de su vertido a la red convencional, ayudaría a que se llevaran a cabo más proyectos con respecto a SUDS o reciclaje de aguas grises, ya que este problema supone un impedimento importante para el avance de otros proyectos de reciclaje de aguas.

7. Bibliografía

Artículos de revistas indexadas

- Copas R., and Scott, R. (1999). *"SUDS sustainable urban drainage systems"*. Landscape Design, 279, 54-57.
- Wilder, P. (2003). *"Not just a pipe dream: Drainage"*. RIBA Journal, 110(6), 66.
- Wright, P. (2003). *"Habitat forming: Sustainable drainage schemes play an important part in the creation of urban wildlife habitats"*. Landscape Design, (325), 32-34.
- Brattebo B.O., Booth D.B. (2003). *"Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems"*. Water Research 37, 4369-4376.
- Scholz M. and Grabowiecki P. (2007) *"Review of permeable pavement systems."* Building and Environment, 42(11), 3830-3836.
- Wise, S. (2008). *"Green infrastructure rising: Best practices in stormwater management"*. Planning, 74(8), 14-19.
- Cettner A., Söderholm K., & Viklander M. (2012). *"An adaptive stormwater culture?: Historical perspectives on the status of stormwater within the swedish urban water system"*. Journal of Urban Technology, 19(3), 25-40.
- Sansalone J., Kuang X., Ying G., Ranieri V. (2012). *"Filtration and clogging of permeable pavemente loaded by urban drainage"*. Water Research 46, 6763-6774.
- Charlesworth S.M., Nnadi E., Oyelola O., Bennet J., Warwick F., Jackson R., Lawson, Charlesworth D. (2012). *"Based experiments to assess the use of Green and food based compost to improve wáter quality in a Sustainable Drainage (SUDS) device such as a swale"*. Science of the Total Envionment 424, 337-343.
- Ramos H.M, Teyssier C., Samora I., Schleiss A.J. (2013). *"Energy Recovery in SUDS towards Smart wáter grids: A case study"*. Energy Policy 62, 463-472.
- Castro-Fresno D., Andrés-Valeri C., Sañudo-Fontaneda L.A., and Rodriguez-Hernandez J. (2013). *"Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements"*. Water, 5, 67-93.
- Scholz M. (2013). *"Water Quality Improvement Performance of Geotextiles Within Permeable Pavement Systems: A Critical Review"*. Water, 5, 462-479.
- Marleni N., Gray S., Sharma A., Burn S., Muttril N. (2015). *"Impact of wáter management practice scenarios on wastewater flow and contaminant concentration"*. Journal of Environmental Management 151, 461-471.
- Henriques C., Garnett K., Weatherhead E.K., Lickorish F.A., Forrow D., Delgado. (2015). *"The future wáter environment – Using scenarios to explore the significant wáter management challenges in England and Wales to 2050"*. Science of the Total Environment 512-513, 381-396.
- Cherchi C., Badruzzaman M., Oppenheimer J., M. Bros C., Jacangelo J. (2015). *"Energy and wáter quality management systems for wáter utility's operations: A review"*. Journal of Environmental Management 153, 108-120.
- Haifeng J., Hairong Y., Ying T., Shaw L., Richard F., Anthony N. (2015). *"LID-BMPs planning for urban runoff control and the case study in China"*. Journal of Environmental Management 149, 65-76.

Otros artículos

- Castro-Fresno D., Rodríguez Hernández J., Rodríguez Bayón J., Calzada Pérez M.A., Canteras Jordana J.C., Ballester Muñoz F., Marañón Maison E., Muñoz Vegas M., Lasa P. (2006): *“Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: ejemplo práctico del aparcamiento del palacio de deportes de la guía.”* III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Agua, Biodiversidad e Ingeniería. Zaragoza, 25-27.
- Castro-Fresno D., Rodríguez J., Rodríguez Hernández J., Gómez-Ullate E. (2008). *“Sistemas Urbanos de drenaje sostenible. SUDS”*. Grupo de investigación de tecnología de la construcción GITECO, Universidad de Cantabria.
- Perales S. y Domenech A. (2008). *“Los sistemas Urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”*. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad politécnica de Valencia.
- William F. and Kelly A. (2008). *“Permeable Pavement: Research Update and Design Implications”*. Urban Waterways. The Division of Water Quality, North Carolina Department of Environment and Natural Resources (NCDENR).

Libros

- US-EPA (2005). *“Manual Usuario SWMM5.0 ve. Modelo de Gestión de aguas Pluviales”*. Valencia. Traducción al Español por GMMF. Universidad Politécnica de Valencia.
- Rueda S. y Perlado S. (2009). *“Tomo II Libro Verde de Medio Ambiente Urbano”*, 14-31. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente.
- Rueda S. (2012). *“El urbanismo ecológico”*. Barcelona. BCNecología, Agencia de Ecología Urbana.

Páginas Web

- AA.VV. Fundación Gonzalo Rio Arronte. (2004). Centro Virtual de Información del Agua. [En línea].
http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=category&id=18&Itemid=300081
- AA.VV. Ciria. (2014). CIRIA [En línea].
<http://www.ciria.org/>
- Abellan A. (2015). Drenaje Urbano Sostenible [En línea].
<http://drenajurbanosostenible.org/>
- AA.VV. Atlantis. (2015). Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible S.L. [En línea].
<http://drenajesostenible.com/>