

GUÍA BÁSICA DE DISEÑO DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA EL TÉRMINO MUNICIPAL DE CASTELLÓ DE LA PLANA

Edita:

Ayuntamiento de Castelló de la Plana

Diseño y Maquetación:

Green Blue Management S.L

Autores:

Sara Perales Momparler
Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

Elena Calcerrada Romero
Máster Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Cristóbal Badenes Catalán
Ingeniero Industrial Municipal

Inés Beltrán Pitarch
Ingeniera Industrial Municipal

Noviembre 2019
© Ayuntamiento de Castelló de la Plana
Reservados todos los derechos
Depósito Legal: CS 1119-2019

ÍNDICE

1. CONTEXTO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN 5
2. INTRODUCCIÓN AL DRENAJE SOSTENIBLE 7
   2.1 Retos del drenaje urbano 7
   2.2 Filosofía del drenaje sostenible 8
   2.3 Marco legislativo 9
3. CASTELLÓN DE LA PLANA Y EL DRENAJE SOSTENIBLE 11
4. TÉCNICAS SUDS 13
   ALCORQUES ESTRUCTURALES 19
   ZANJAS Y POZOS DE INFILTRACIÓN 23
   DEPÓSITOS RETICULARES 27
   PAVIMENTOS PERMEABLES 31
   DRENES FILTRANTES 35
   PARTERRES INUNDABLES 39
   CUNETAS VEGETADAS 43
   HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES 47
   BALSA DE DETENCIÓN E INFILTRACIÓN 51
   CUBIERTAS VEGETADAS 55
   ALJIBES 59
5. PROCESO DE DISEÑO 63
   5.1 Ámbito de aplicación 63
   5.2 Características del lugar 63
   5.3 Objetivos de diseño 71
   5.4 Selección de la técnica SUDS 75
   5.5 Diseño, cálculo y modelización 81
   5.6 Tareas de mantenimiento 82
   5.7 Solicitud de la tramitación de vertido 83
6. BIBLIOGRAFÍA 85

1. CONTEXTO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

Durante años la práctica habitual en el diseño del drenaje urbano ha consistido en transportar el agua rápidamente fuera de la ciudad a través de sumideros y sistemas de tuberías diseñados para captar y conducir toda el agua de escorrentía superficial. Cabe destacar que cuando se urbaniza un entorno natural, se produce un sellado del suelo que provoca que el agua que antes se retenía el suelo y se infiltraba, ahora discurra rápidamente por la superficie y sea necesario recogerla, transportarla y verterla al medio receptor en puntos concretos. A estos inconvenientes hay que añadir la contaminación de esa agua, tanto porque el agua de lluvia arrastra contaminantes suspendidos en el aire, como por el efecto de lavado de las superficies impermeables.

Como consecuencia de esta impermeabilización del terreno, asociada al proceso de hacer ciudad, se altera el ciclo natural del agua, produciéndose mayores volúmenes de escorrentía y mayores caudales punta, generándose problemas en la gestión de las aguas de lluvia, tanto por su cantidad como por el impacto de su calidad sobre el medio receptor. El crecimiento sostenido de las ciudades unido a un escenario de cambio climático, donde las altas temperaturas y las precipitaciones extremas son cada vez más frecuentes, supone un incremento del riesgo de saturación de las redes de drenaje convencionales, haciendo que su ampliación no sea sostenible desde un punto de vista económico, técnico y ecológico.

Frente a estos problemas, la nueva tendencia internacional es la de implantar **SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE** (SUDS), que aportan una solución para la gestión de las escorrentías urbanas desde un enfoque más amable con la naturaleza, actuando desde el origen, y de una manera racional y más sostenible.

La filosofía de los SUDS se basa en reproducir el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana, fomentando en el proceso de urbanización el uso de sistemas permeables que permitan realizar una gestión más sostenible de las aguas de lluvia reduciendo la escorrentía superficial, tanto en origen como durante su transporte y en destino, con el objeto de incrementar la infiltración al terreno, laminar los caudales pico a gestionar e incrementar la calidad de los vertidos de aguas de lluvias. Este enfoque también considera el agua de lluvia como un recurso natural, no como un residuo, aprovechándola en aquellos usos de agua no potable; por este aspecto, los SUDS se consideran dentro de las estrategias de economía circular.

Para dar solución a los múltiples desafíos a los que se enfrentan nuestras ciudades, la Comisión Europea promueve las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) y, por sus características y prestaciones, también apoya la implementación del drenaje sostenible. En particular, la Comisión promociona esta infraestructura verde en el ámbito urbano, para gestionar el agua de lluvia y el riesgo de inundaciones, fomentando la multifuncionalidad de los espacios y como parte de estrategias de regeneración urbana. Países como Reino Unido, Francia, Holanda o Alemania cuentan con ya con experiencias en SUDS.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización Naciones Unidas (ONU) persiguen un mundo más sostenible para el año 2030; y, aunque no son jurídicamente obligatorios, se espera que los gobiernos adopten medidas que contribuyan a su consecución. Muchos de estos objetivos están

íntimamente ligados al agua y al medio ambiente, y aspiran a mejorar el estado de las masas de agua y a optimizar la gestión de los recursos hídricos. La progresiva implantación de técnicas de drenaje sostenible puede jugar un papel fundamental para alcanzar las metas particulares de cada ODS; no solo en el *ODS 6: Agua limpia y saneamiento*, sino en otros muchos.

Por todo lo expuesto, con motivo del auge en el empleo de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, el Ayuntamiento de Castellón considera oportuna la elaboración de esta Guía, con el objeto de fomentar y facilitar la gestión sostenible de las aguas de lluvias en todas las **actuaciones de urbanización y nuevas edificaciones en zonas urbanizadas, tanto públicas como privadas**, así como para fomentar la concienciación social y ciudadana de este cambio de paradigma, para mejorar la resiliencia urbana, y la calidad de vida de la ciudadanía.



2. INTRODUCCIÓN AL DRENAJE SOSTENIBLE

2.1 Retos del drenaje urbano

El modelo actual de desarrollo urbano conlleva un proceso de sellado e impermeabilización del suelo que introduce una alteración en ciclo natural del agua, fundamentalmente en los siguientes aspectos (Figura 1):

- Aumento del volumen de escorrentía;
- Aumento del caudal punta;
- Disminución del tiempo que tarda en alcanzarse el caudal punta;
- Disminución del flujo base que acaba en cauces naturales; y
- Disminución de la infiltración de agua al subsuelo para la recarga de acuíferos.

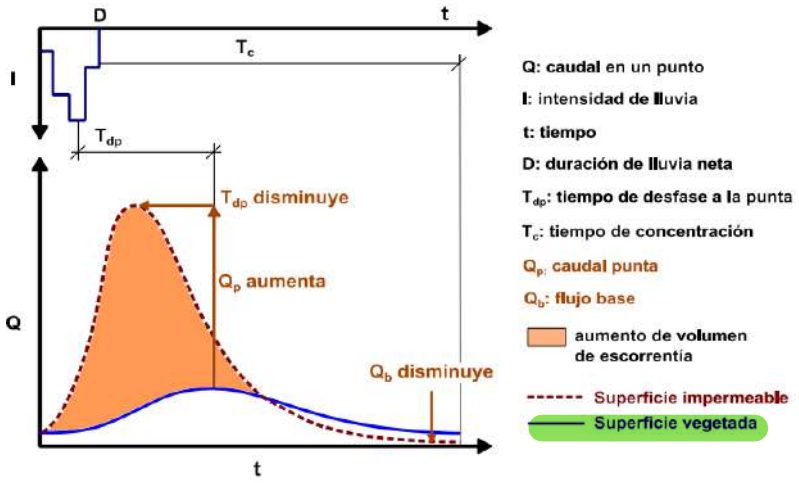


Figura 1. Cambios en el hidrograma provocados tras la impermeabilización de superficies. Fuente: Perales-Momparler y Valls-Benavides (2013).

Esta alteración ha fundamentado el criterio tradicional de 'evacuar el agua caída lo antes posible' fuera del ámbito de actuación, empleando soluciones de ingeniería "dura" o convencionales (colectores más grandes, nuevas canalizaciones de hormigón, grandes estaciones depuradoras, …). Además, en este diseño la escorrentía que se capta es agua contaminada, ya que conforme recorre la superficie impermeabilizada recoge la contaminación difusa presente en ella.

El clima mediterráneo se caracteriza por lluvias torrenciales, con picos de intensidad elevados y corta duración, especialmente en otoño, y temperaturas extremas. Esta climatología causa problemas de inundaciones locales debido a que la infraestructura de drenaje no es capaz de reaccionar, resultando en descargas de sistema unitario y la contaminación del medio receptor, entre otras afecciones.

El efecto del cambio climático supondrá la probable disminución de la precipitación y el aumento de los fenómenos extremales de tormentas. Estudios realizados en los últimos años concluyen que ha au-

mentado cuatro veces la ocurrencia y la severidad de las inundaciones, con una mayor incidencia socioeconómica en los entornos urbanos. Otro efecto importante del calentamiento global es el aumento de la temperatura, que contribuye al efecto urbano “isla de calor”.

Como consecuencia de todo ello, es necesario un nuevo enfoque en la gestión del agua urbana, que genere ciudades más resilientes a los efectos climáticos y que, al mismo tiempo, se creen espacios saludables y vivos.

2.2 Filosofía del drenaje sostenible

El enfoque de drenaje sostenible apuesta no sólo por el control de la **cantidad** (tanto de caudales como de volúmenes), sino también por el control de la **calidad** de esas aguas de escorrentía, tratando de reproducir y/o restituir los procesos hidrológicos previos al desarrollo urbanístico (infiltración, filtración, biorremediación, almacenamiento, laminación, evapotranspiración).

Este enfoque, que apoya la gestión inteligente del agua pluvial y aúna aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, se conoce en España como **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible** (**SUDS**). Dicho enfoque se basa en la aplicación de un amplio abanico de **soluciones basadas en la naturaleza** que pueden utilizarse, bien como alternativa a los sistemas de drenaje convencionales, o bien, en combinación con ellos (caso más frecuente en entornos urbanos).

Los SUDS promueven un **sistema descentralizado**, al actuar desde **el origen**. Es decir, allí donde caen las gotas de lluvia, en las zonas de contacto entre la lluvia y la ciudad: cubiertas, jardines, plazas, viarios, calles, etc. (Figura 2).



Figura 2. Ciudad y SUDS. Fuente: Olmos et al. (2015).

Esta infraestructura verde para el agua tiene asociados otros beneficios ecosistémicos más allá de los propios hidráulicos, como son el aumento de **biodiversidad**, la creación de **espacios multifuncionales y de valor paisajístico** para los **vecinos** y nuevas oportunidades de **empleo verde**, entre otros.

Por último, los SUDS contribuyen a alcanzar los principios de gobernanza recogidos en la legislación española y europea:

- mejora del estado de las masas de agua;
- protección frente a inundaciones y sequías;
- adaptación y mitigación al impacto del cambio climático;
- reducción del consumo energético en el ciclo urbano del agua (aprovechamiento del agua de lluvia en usos de agua no potable, reducción del volumen de escorrentía a plantas de tratamiento, menores bombeos, etc.);
- provisión de servicios ecosistémicos, la conectividad y la restauración ecológicas para la conservación de la biodiversidad; y
- refuerzo de los valores del agua y de los espacios verdes dedicados a la ciudadanía (empleo local verde, mejora del espacio urbano, ciudades resilientes, etc.).

2.3 Marco legislativo

El **RD 1290/2012** de Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico se elaboró, entre otros motivos, para contemplar las situaciones de contaminación por vertidos procedentes de desbordamientos de sistemas unitarios (DSU) en tiempo húmedo. En el artículo 259ter establece que todos los proyectos de nuevos desarrollos deben plantearse la conveniencia de disponer redes unitarias o separativas; así como, adoptar las medidas que limiten la aportación de aguas a los colectores. La aplicación práctica de los principios que establece queda pendiente de establecerse en unas Normas Técnicas que en octubre de 2019 todavía no han sido aprobadas, aunque todo indica que éstas apuntarán a los SUDS como medidas que favorecen el control de las escorrentías urbanas y cuya implementación generalizada puede reducir drásticamente las DSU.

Con la entrada en vigor del **Real Decreto 638/2016** se ha producido un gran avance hacia el cambio de paradigma en España del drenaje urbano, desde la óptica convencional hacia un sistema que incluya SUDS como solución habitual. Éste modifica reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales, y establece que, para el diseño de las actuaciones en dominio público hidráulico: "*Las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos en general, deberán introducir sistemas de drenaje sostenible, tales como superficies y acabados permeables, de forma que el eventual incremento del riesgo de inundación se mitigue. A tal efecto, el expediente del desarrollo urbanístico deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que lo justifique*" (Artículo 126ter, Punto 7).

En el ámbito regional, el Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana – **PATRICOVA**, establece que en el diseño de la infraestructura verde ("*que procurará la mejora de las funciones ecológicas que contribuyan a reducir el impacto del riesgo de inundación, así como la conservación y activación de los paisajes naturales y culturales relacionados*

con el agua"), se fomentará el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (art. 23.9), y que todos los municipios de la Comunidad Valenciana deben fomentar el uso de SUDS (anexo I.C.2).

En 2017, la **Resolución 997/IX** de las Cortes Valencianas insta a incorporar medidas de prevención y técnicas relacionadas con el uso de sistemas de drenaje sostenible en el diseño de la infraestructura verde incluida o asociada a los planes de ordenación del territorio. Además, detalla que el Consell debe asegurar que las entidades locales fomenten que: "*en el diseño de la infraestructura verde incluida o asociada a los planes de ordenación del territorio y en cualquier actuación en materia de obras públicas, se incorporen medidas de prevención y técnicas (materiales permeables, diseño de espacios abiertos, zonas verdes, etc.) relacionadas con el uso de sistemas de drenaje sostenible adecuados a las características del terreno afectado*".

Recientemente, la **Confederación Hidrográfica del Júcar** indica en la solicitud de autorización de obra para vertido de pluviales la obligatoriedad de introducir SUDS, tales como superficies y acabados permeables, de forma que el eventual incremento del riesgo de inundación se mitigue. Para ello, establece el uso de SUDS para laminar la avenida asociada a T = 15 años sin que varíe el hidrograma del cauce aguas abajo del punto de vertido. Es decir, que no se vea afectado el caudal pico circulante por el cauce donde se vierta, en comparación con la situación de la zona no urbanizada.

En las nuevas **Ordenanzas Pormenorizadas del PGOU** del Ayuntamiento de Castellón de la Plana, actualmente en fase de tramitación, se promueve el uso de recursos hídricos alternativos en el planeamiento urbanístico, considerando la inclusión de sistemas de captación, almacenamiento y tratamiento de las aguas de lluvia para su posterior aprovechamiento. En el apartado de pavimentación, insta al empleo de superficie permeables como pavimentos porosos en todas las actuaciones de urbanización. En aceras, bulevares y medianas, y plazas y zonas verdes, se determina un porcentaje mínimo de superficie permeable.

Finalmente, cabe destacar que los SUDS, como soluciones basadas en la naturaleza, son un importante componente en las políticas para el desarrollo de los países y una estrategia efectiva para alcanzar los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**.

3. CASTELLÓN DE LA PLANA Y EL DRENAJE SOSTENIBLE

En los últimos años, el municipio de Castellón ha creído y apostado por el drenaje sostenible. Entre sus experiencias, destacar que en 2016 participó en el proyecto **CoSuDS** (*Collaborative transition towards sustainable urban drainage: making it happen at district scale*). La motivación de este proyecto fue favorecer la transición hacia una gestión más eficiente y sostenible del agua de lluvia a escala de barrio, con el objetivo de pasar de experiencias piloto a un enfoque ciudad.





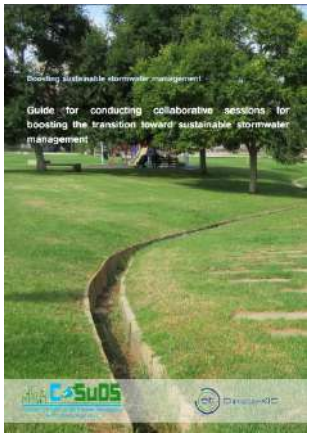
Figura 3. Sesiones colaborativas celebradas en 2016. Fuente: CoSuDS Project (2016).

En el marco de una serie de sesiones colaborativas (Figura 3), se eligió como barrio piloto el "Raval-Universitari" para plantear, analizar y definir la estrategia óptima de gestión sostenible del agua de lluvia y solucionar los problemas actuales de drenaje urbano. En estas sesiones participaron más de una treintena de actores relacionados con la gestión del agua en la ciudad o a escala regional y nacional, el desarrollo urbano y la sostenibilidad ambiental. Tras el diagnóstico y análisis del barrio, se identificaron una serie de soluciones por tipología y ámbito de actuación, recogidas en la Figura 5.

Complementariamente, se estableció la visión para la ciudad bajo el lema:

"CASTELLÓN BANDERA VERDE: CIUDAD AMABLE Y SOSTENIBLE RENATURALIZANDO EL CICLO URBANO DEL AGUA"

Con el fin de promover la replicabilidad del uso de SUDS en otras ciudades se elaboraron diferentes documentos, como el *"White paper for a collaborative transition towards sustainable urban drainage"* o la guía de apoyo a la realización de sesiones colaborativas *"Guide for conducting collaborative sessions for boosting the transition toward sustainable stormwater management"*, cuyas portadas se muestran en la Figura 4.



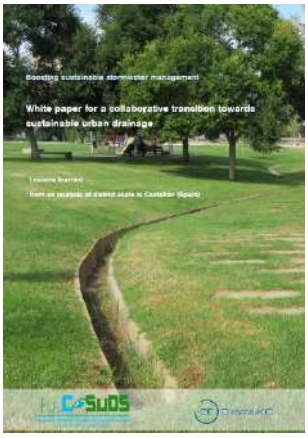


Figura 4. Documentos elaborados en el proyecto CoSuDS.

Pavimento permeable




Parterre inundable tipo jardín de lluvia




Parterre inundable tipo área de biorretención




Cuneta vegetada




Figura 5. Infografías con propuestas para futuras actuaciones piloto. Izquierda: situación actual; derecha: visión tras la actuación. Fuente: CoSuDS Project (2016).

4. TÉCNICAS SUDS

El enfoque del drenaje sostenible, complementario al drenaje convencional, cuenta con amplio abanico de soluciones, permitiendo su aplicación para la gestión del agua de lluvia tanto en nuevos desarrollos como en actuaciones de regeneración urbana. No obstante, es necesario evaluar cada proyecto en particular y seleccionar aquellas soluciones que maximicen el rendimiento inteligente del sistema de drenaje. Por otro lado, es fundamental considerar la gestión de pluviales con SUDS desde las etapas iniciales de la actuación, para poder reproducir los patrones de drenaje natural y dedicarle el espacio que requiera la gestión del agua de lluvia.

Dado el carácter de Guía Básica de este documento, la información que se presenta en este capítulo debe ser considerada como un conjunto de nociones básicas y características habituales que pretenden ser de utilidad en las etapas preliminares de diseño. No obstante, será necesaria la consulta de bibliografía especializada adicional para la etapa de redacción de proyecto constructivo, así como para especificar las labores de operación y mantenimiento que serán necesarias. Para ello se puede consultar la referenciada en el último capítulo de este documento.

En la bibliografía específica, los SUDS se clasifican de acuerdo a diferentes aspectos: función principal, tipo de actuación, tipo de sistema empleado, lugar de aplicación, etc. En esta Guía, se considera la clasificación por tipo de actuación, pudiendo ser estructural o no estructural:

- **Medidas no estructurales**: su finalidad es reducir la generación de escorrentía, prevenir su contaminación, y mejorar la gestión de las aguas de lluvia, sin que su implementación precise de ninguna intervención concreta sobre la red de drenaje.

  Dentro de estas medidas, cabe destacar las siguientes: programas educacionales y participación ciudadana, a través, por ejemplo, de carteles informativos-educativos (Figura 6); legislación y planeamiento; control de la aplicación de herbicidas y fungicidas; limpieza frecuente de superficies; cuidado en las obras para evitar arrastre de sedimentos; control de conexiones ilegales; reducción de superficies impermeables; y planes de mantenimiento.



Figura 6. Ejemplos de carteles informativos-educativos. Fuente: Green Blue Management.

- **Medidas estructurales**: su objetivo es gestionar el agua de lluvia a través de actuaciones que requieran, en mayor o menor medida, de algún elemento constructivo. Dentro de este grupo se incluyen cubiertas vegetadas, aljibes, pavimentos permeables y parterres inundables, entre otros.

En esta Guía se presentan las técnicas SUDS estructurales más extendidas y que pueden ser integradas en el municipio de Castellón, clasificadas de acuerdo a su **función principal y secundaria**, según se muestra en la Tabla 1. No obstante, cabe destacar que se trata de una **clasificación genérica** y que **ninguna técnica SUDS se ha de descartar basándose únicamente en la idoneidad con las funciones especificadas**, ya que existen variaciones en la configuración del diseño que podrían dar protagonismo a otra función, incluso distinta a las dos resaltadas. Por ejemplo, es común que los parterres inundables del tipo jardín de lluvia se empleen con la función principal de infiltración.

Tabla 1. Clasificación de los SUDS por su función principal y secundaria.

	Función principal				
Tipología SUDS	**Retención**	**Filtración**	**Infiltración**	**Tratamiento**	**Detención**
Alcorques estructurales			**P**		S
Pozos y zanjas de infiltración		S	**P**		
Depósitos reticulares			**P**		S
Pavimentos permeables		**P**	S		
Drenes filtrantes		**P**			S
Parterres inundables			S	**P**	
Cunetas vegetadas			S	**P**	
Humedales artificiales y estanques				**P**	S
Balsas de detención e infiltración			S		**P**
Cubiertas vegetadas	**P**				S
Aljibe	**P**				S

P = Función principal; S = Función secundaria

La función de **retención** consiste en almacenar *in situ* el agua de lluvia para aprovecharla en usos que no requieran la calidad del agua potable; en cambio, con la **detención** se almacena temporalmente la escorrentía para posteriormente descargarla lentamente, fomentando la sedimentación de partículas y reduciendo el caudal pico. La función de **filtración** se basa en retener los sedimentos presentes en el agua pluvial a través de un medio poroso, un suelo artificialmente creado o la vegetación. Con la **infiltración** se favorece el movimiento vertical de la escorrentía a través del suelo, contribuyendo a la recarga de acuíferos. Y, por último, la función de **tratamiento** utiliza procesos de fitorremediación o colonias bacterianas para metabolizar contaminantes en la escorrentía de aguas pluviales.

El contenido de las fichas que presentan las principales técnicas SUDS se resume en:

1. Breve descripción de la solución y los elementos que la componen.
2. Evaluación cualitativa del rendimiento de sus características principales, su adecuación en función del uso del suelo e índice de mitigación de contaminantes.
3. Esquema de funcionamiento conceptual, ejemplos gráficos y fotografías de dispositivos existentes.
4. Beneficios y limitaciones más relevantes.
5. Consideraciones y criterios de diseño generales.
6. Requisitos y recomendaciones de mantenimiento, especificando su frecuencia de manera orientativa.

Cabe destacar que se pueden incorporar elementos complementarios a las soluciones presentadas, como son:

- Elementos que favorecen la **entrada de escorrentía** al SUDS (Figura 7), como pueden ser el rebaje de bordillos, bordillos elevados intermitentes, canaletas que captan y dirigen la escorrentía, entre otros.



Figura 7. Elementos que favorecen la entrada de escorrentía a los SUDS. Fuente: City of Mesa (2015).

- Elementos que favorecen el **vertido y/o rebose controlado** de la escorrentía hacia el siguiente elemento de gestión de escorrentía, como aliviaderos (Figura 8) y válvulas de vórtice (Figura 9).



Figura 8. Ejemplos de aliviaderos. Fuente (de izq. a dcha.): City of Mesa (2015), Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU), y London Borough of Haringey (2018).

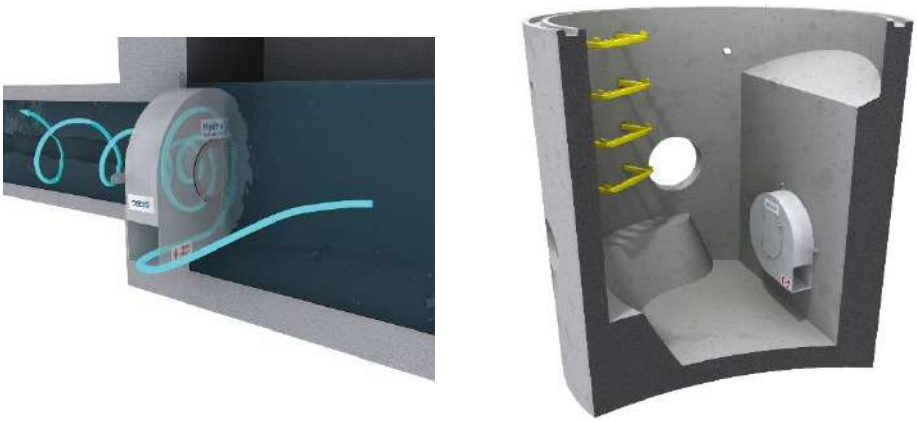


Figura 9. Ejemplos de válvula vórtice. Fuente: Hydro International.

- **Dispositivos de tratamiento** con un elevado rendimiento en la eliminación de contaminantes presentes en la escorrentía, como los separadores hidrodinámicos o los filtros compactos (Figura 10).



Figura 10. Separador hidrodinámico (izq.) y filtro compacto (der.). Fuente: Hydro International.

- Elementos para la **monitorización del sistema**, permitiendo establecer el grado de cumplimiento de los objetivos de calidad y cantidad y, con ello, realizar estimaciones más ajustadas en futuras actuaciones. Para la monitorización de la cantidad es efectiva, por ejemplo, la instalación de una arqueta con un vertedero triangular y una sonda de presión hidrostática que complemente a un medidor de balancín; y para la calidad se suelen emplear tomamuestras automáticos (ver ejemplo de la Figura 11).



Figura 11. Arqueta seca con tomamuestras instalada en el proyecto LIFE CERSUDS en Benicàssim. Fuente: LIFE CERSUDS.

En las actuaciones que se realicen en el municipio de Castellón, se procurará dejar ejecutados, en la medida de lo posible, aquellos elementos de obra que se consideren necesarios para monitorizar el funcionamiento del sistema de drenaje, aun en los casos en los que no se prevea su instrumentalización a corto plazo.

MEDIDAS ESTRUCTURALES



Alcorques estructurales



Zanjas y pozos de infiltración



Depósitos reticulares



Pavimentos permeables



Drenes filtrantes



Parterres inundables



Cunetas vegetadas



Humedales artificiales y estanques



Balsas de detención e infiltración



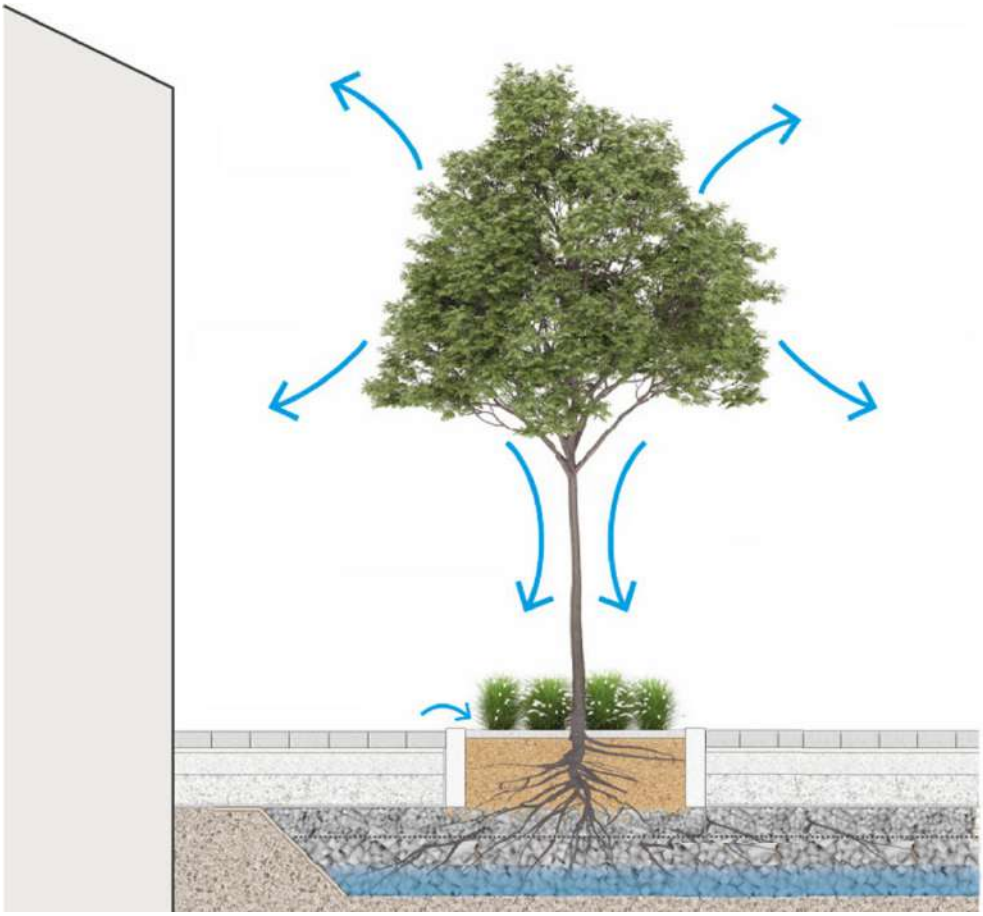
Cubiertas vegetadas



Aljibes



Fuente: Alameda County Works Agency (2019).



Fuente: 3:0 Landschaftsarchitektur.

ALCORQUES ESTRUCTURALES

DESCRIPCIÓN

Los alcorques estructurales, están formados por el hoyo en el terreno donde se planta el árbol y el relleno de suelo estructural. Este suelo está diseñado para almacenar temporalmente la escorrentía, permitir el crecimiento de las raíces del árbol y el tránsito sobre el mismo (al contar con capacidad portante).

En función del tipo de suelo estructural con el que esté formado el alcorque, se clasifican en:

- Alcorque con material granular

  Está compuesto por una mezcla de tierra vegetal preparada y material granular, que al compactarse (p.ej. por humectación) ofrece capacidad portante. Las partículas gruesas soportan y distribuyen las cargas, como puede ser la de peatones o vehículos de limpieza viaria ligeros. Esto previene la compactación de las partículas finas donde las raíces pueden crecer.

- Alcorque con material geocelular de polipropileno

  En este caso, la estructura geocelular de polipropileno es la que proporciona la capacidad portante, y deja mucho más volumen, en comparación con el alcorque con material granular, para ser ocupado por la tierra vegetal.

FUNCIÓN

Principal: Infiltración

Secundarias: Detención

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	★☆☆
Control del volumen de escorrentía	★★☆
Control de la calidad del agua	★★☆
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	★★★
Aprovechamiento del agua	★☆☆

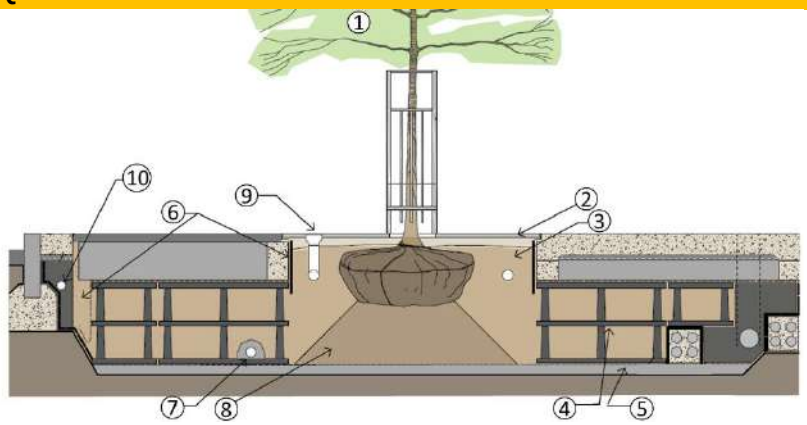
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Sí
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,6
Metales	0,5
Hidrocarburos	0,6

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Árbol
2. Rejilla que protege al árbol
3. Tierra vegetal preparada
4. Estructura geocelular rellena con material granular
5. Capa de gravas
6. Barrera antirraíces
7. Conducto drenante
8. Desarrollo de raíces
9. Sistema de aireación
10. Servicios

Fuente: Adaptado de City of Burlington (2018).

BENEFICIOS

- ☑ Favorecen el desarrollo de los árboles al ofrecer un adecuado espacio para las raíces y la disponibilidad de agua, aire, materia orgánica y nutrientes.
- ☑ Evita el levantamiento del acerado al permitir el desarrollo adecuado de las raíces.
- ☑ Contribuye a la gestión de la escorrentía mediante los procesos de transpiración, intercepción, infiltración y fitorremediación.
- ☑ Tiene un impacto visual positivo en el medio urbano.
- ☑ Los árboles contribuyen a la refrigeración del ambiente, la filtración de los contaminantes del aire y absorben y almacenan el CO_2.
- ☑ Pueden mejorar la biodiversidad urbana, pues contribuyen al desarrollo de árboles locales de especies autóctonas, y la conectividad entre hábitats.

LIMITACIONES

- ☒ Su rendimiento en reducir el caudal pico y el volumen de escorrentía es reducido en comparación a otras técnicas SUDS.
- ☒ No es aconsejable su empleo para cuencas drenantes grandes.
- ☒ Consumen más espacio y son más caros que los alcorques convencionales.
- ☒ Los servicios enterrados condicionan su localización.
- ☒ Están expuestos al riesgo de compactación del terreno al permitir el tránsito sobre ellos.
- ☒ La excavación para la reparación de servicios enterrados puede afectar y dañar al alcorque estructural.
- ☒ Puede ser necesaria una lámina impermeable para proteger el pavimento de la calzada.

CRITERIOS DE DISEÑO

- Normalmente gestionan un área similar a la de un imbornal y no deberían utilizarse para gestionar grandes cuencas.
- Si la permeabilidad del terreno es ≥ 10^{-6} m/s se puede considerar la evacuación por infiltración, requiriéndose además una distancia mínima de 1 m entre la base del sistema y el nivel freático. En caso contrario, se deberá instalar un conducto drenante en la base para transportar la escorrentía aguas abajo.
- Su localización debe ofrecer una distancia razonable de los servicios enterrados, como electricidad o saneamiento.
- El diseño debe garantizar que: el agua fluye libremente y las raíces no se aneguen; no se produzca la compactación del terreno alrededor del árbol; el suelo permita el crecimiento de las raíces en condiciones saludables; y el volumen de almacenamiento consiga los objetivos establecidos (reducción de volúmenes/caudales).
- Las pendientes de los pavimentos adyacentes deben dirigir la escorrentía hacia los alcorques. Para aumentar el área de captación, es aconsejable incluir franjas de pavimento permeable entre alcorques. Además, el pavimento permeable ofrece un rendimiento extra en la eliminación de contaminantes.
- Es posible contar con almacenamiento superficial alrededor del tronco del árbol de unos 15 cm, en la zona no transitable. También se puede contar con el almacenamiento de la franja de pavimento permeable, en su caso.
- El ancho habitual del espacio superficial visible no transitable es de 1,20 m y suele tener forma rectangular.
- Se pueden interconectar los alcorques creando una red de almacenamiento de agua secundaria y aumentar el rendimiento del sistema.
- La especie de árbol autóctona debería seleccionarse por tener un follaje extenso y denso, un sistema de ramificación vertical (para garantizar la viabilidad y estabilidad del árbol en el entorno urbano), ser tolerante a la sequía y a la saturación del medio y resistir los contaminantes del aire y del agua.
- Normalmente, el desarrollo de las raíces se realiza en 1 m de profundidad y, para evitar anegarlas, el almacenamiento subsuperficial se dispone por debajo de éstas.
- Para seleccionar las especies que mejoren la efectividad en reducción de escorrentía y la filtración de contaminantes, se aconseja que tengan un follaje extenso y denso y un sistema de ramificación vertical; sean de larga duración y rápido crecimiento, tolerantes a la sequía y a la saturación del medio; y resistan los contaminantes del aire y del agua.
- Para eventos que excedan la capacidad del diseño se instalará un aliviadero a una altura que garantice las necesidades hídricas del árbol; o bien, se dejará que el exceso circule por superficie hasta el siguiente elemento de gestión de las escorrentías.
- En las zonas con limitación de espacio se pueden incluir un elemento de infiltración puntual vertical, para favorecer el flujo del agua.
- Se aconseja incluir un pozo de inspección-ventilación (p. ej. con un conducto drenante colocado en vertical), para la monitorización de la lámina de agua en el interior del suelo estructural.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Retirar la basura, sedimentos y las hierbas no deseadas.	Mensualmente
Inspeccionar los elementos de entrada y salida, si los hubiera; en búsqueda de colmataciones u obstrucciones.	Mensualmente
Mantenimiento ordinario del árbol. En caso de época de sequía, considerar riego adicional.	Semestralmente
Inspeccionar la salud del árbol y, en su caso, tomar las medidas necesarias.	Anualmente
Inspeccionar los elementos de protección perimetrales (p. ej. bordillos intermitentes) y, en su caso, reparación.	Anualmente
Limpiar/reemplazar el suelo (sedimentos > 5cm) o si no drena en 48 h después de fuerte lluvia.	Cada 2 años
Mantenimiento del pavimento permeable (p. ej. aspiración estándar). Reparación de grietas y depresiones que afecten a la función estructural del firme o supongan un riesgo para los ciudadanos.	Según necesidad
Rehabilitación de la superficie permeable mediante aspiración en profundidad si se ha reducido la permeabilidad significantemente por colmatación.	Según necesidad

EJEMPLOS



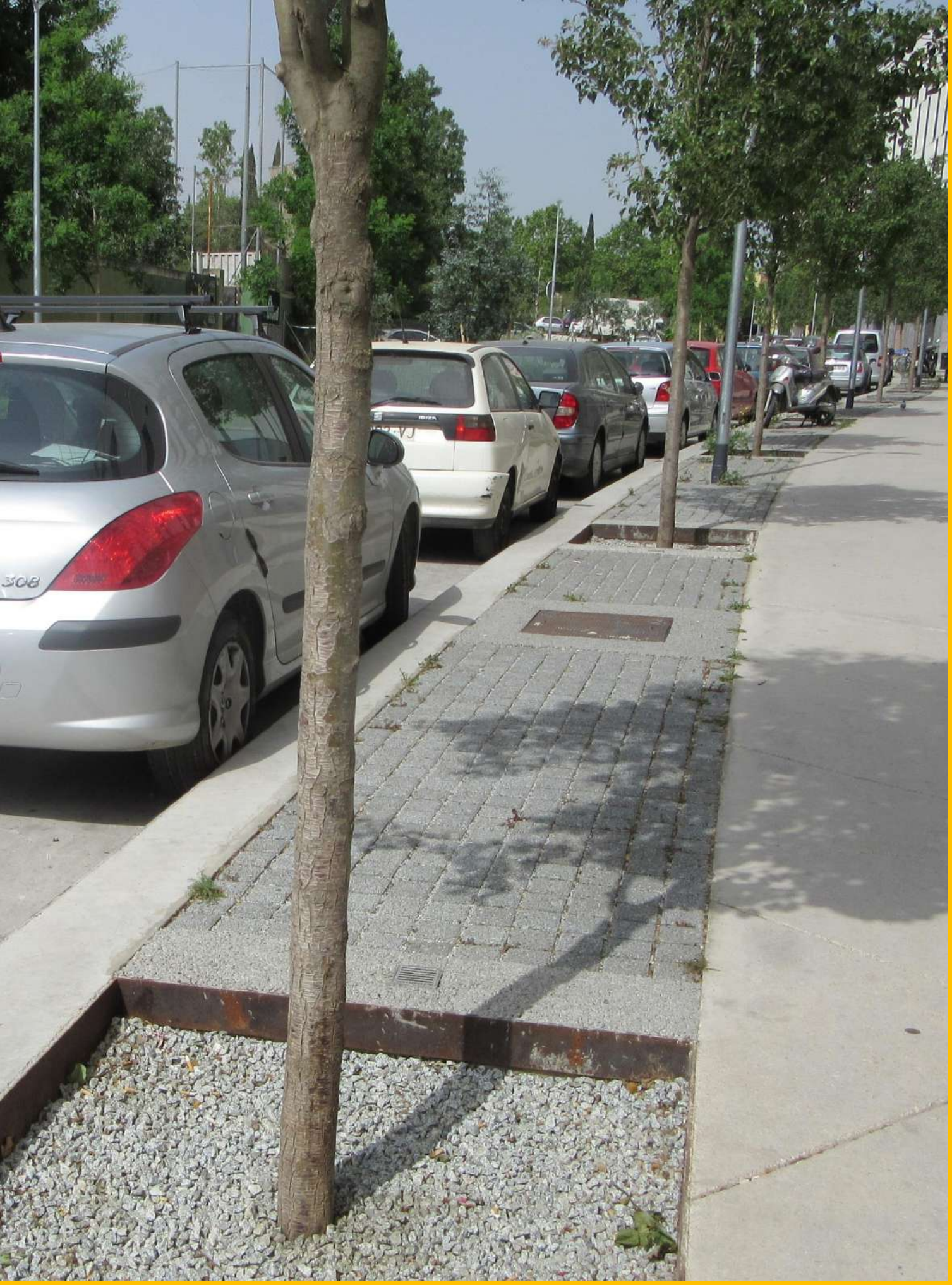
Alcorque de infiltración en Bon Pastor (Barcelona). Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU).



Alcorque de infiltración en Can Cortada (Barcelona). Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU).



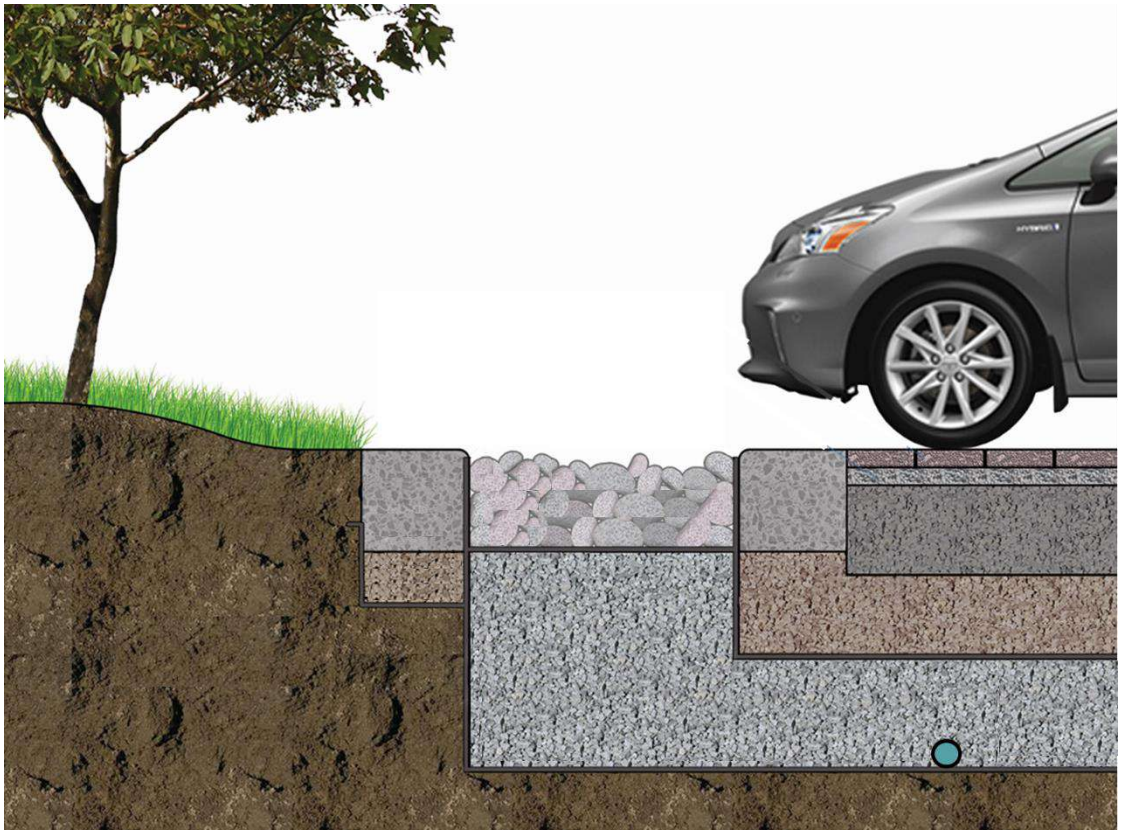
Alcorque de infiltración en Calgary (Canadá). Fuente: City of Calgary.



Alcorque de infiltración en Can Cortada (Barcelona). Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU).



Fuente: City of San Diego (2016).



Fuente: Toronto and Region Conservation Authority (2015).

ZANJAS Y POZOS DE INFILTRACIÓN

DESCRIPCIÓN

Las zanjas y pozos de infiltración interceptan la escorrentía de las áreas contiguas y la almacenan temporalmente de forma subsuperficial, para su posterior infiltración al terreno.

El almacenamiento temporal se crea a través de una excavación en el terreno que es rellenada con un material drenante de un alto porcentaje de huecos, pudiendo ser granular o sintético. Éste se envuelve en un geotextil, para prevenir que las partículas finas lo colmaten. Para facilitar las labores de mantenimiento, se instala un geotextil superficial a unos 20 cm.

La diferencia entre estas técnicas reside en la morfología de la excavación: las zanjas son lineales y poco profundas, mientras que los pozos son una perforación vertical y, generalmente, algo más profundos.

- Las zanjas pueden ser recubiertas de vegetación, grava o arena como elemento de tratamiento.
- Los pozos pueden diferenciarse en:
  - Pozos de infiltración sin revestir, donde la excavación está simplemente rellena del material drenante.
  - Pozos de infiltración revestidos, donde las paredes de la excavación se contienen con un anillo reforzado. Una técnica sencilla de implementar es el pozo con paredes de ladrillo panal, donde los agujeros son paralelos al flujo para permitir la entrada de escorrentía.

FUNCIÓN

Principal: Infiltración

Secundarias: Filtración

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	★★★
Control del volumen de escorrentía	★★★
Control de la calidad del agua	★★☆
Beneficios para la biodiversidad	★☆☆
Multifuncionalidad de la actuación	★☆☆
Aprovechamiento del agua	☆☆☆

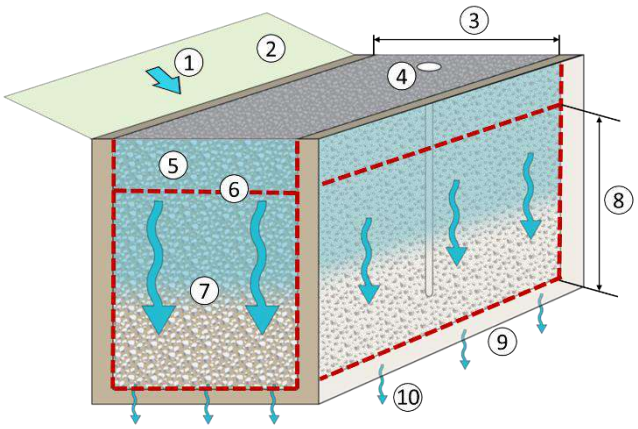
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Sí
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,4
Metales	0,4
Hidrocarburos	0,4

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Flujo superficial con pendientes laterales máx. 1H:3V
2. Pretratamiento por franja vegetada (opcional)
3. Ancho mínimo de la zanja de 0,30 m
4. Abertura de inspección visual
5. Gravas; pueden ser decorativas para mejorar la estética del lugar
6. Geotextil superficial a los 20-30 cm de profundidad para facilitar las labores de mantenimiento
7. Gravas o material drenante sintético
8. Profundidad habitual en torno a 1 m
9. Pendiente longitudinal lo más horizontal posible, con un máx. del 3 %
10. Infiltración al terreno

Fuente: Adoptado de Minnesota Pollution Control Agency (2019).

BENEFICIOS

- ☑ Contribuyen a reducir significativamente el volumen de escorrentía a través de la infiltración, favoreciendo la recarga de acuíferos y/o el flujo base hacia ríos y humedales.
- ☑ Mejoran la calidad del agua, pues limpia la escorrentía, principalmente, por filtración, y reducen el transporte de contaminantes aguas abajo.
- ☑ Son flexibles en el diseño (variedad en formas y tamaños); las zanjas suelen situarse junto a elementos lineales, como caminos o viales.
- ☑ Al tener una huella pequeña, los pozos se pueden emplear en espacios reducidos.
- ☑ Fáciles de construir y operar.
- ☑ Bajo coste de construcción y mantenimiento.

LIMITACIONES

- ☒ Es necesario que la escorrentía esté adecuadamente tratada antes de ser infiltrada al terreno, para no contaminar las aguas subterráneas.
- ☒ Al ser técnicas subterráneas es más difícil identificar la colmatación del sistema. Por ello, es aconsejable introducir una capa superficial de 20 cm independizada del resto de la zanja/pozo.
- ☒ Imposibilidad de circulación de tráfico sobre el sistema, pues lo compacta y reduce su permeabilidad, excepto cuando se cuenta con un refuerzo.
- ☒ Una intrusión invasiva de raíces de arbustos o árboles puede significar una reducción del volumen de almacenamiento disponible y puede causar el fallo estructural.

CRITERIOS DE DISEÑO

- El terreno debe contar con una permeabilidad > 10^{-6} m/s y el nivel freático, al menos, 1 m por debajo de la base del depósito.
- Se deben evaluar los riesgos que podría generar la infiltración: riesgo de inestabilidad del terreno, hundimiento o erosión; riesgo de pendientes inestables; riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por la movilización de contaminantes ya existentes en el terreno de base; riesgo de infiltrar contaminantes procedentes de la escorrentía al terreno y/o aguas subterráneas; riesgo de fugas hacia el sistema de alcantarillado, cimientos, túneles y otras infraestructuras.
- La profundidad del sistema debe permitir su vaciado por infiltración en menos de 48 h, para poder albergar las sucesivas tormentas. El almacenamiento útil se puede estimar considerando un índice de huecos del 30 % para las gravas y un 90 % para las estructuras de polipropileno (o valor que aconseje el fabricante).
- En zonas con gran aporte de sedimentos, puede requerir un pretratamiento aguas arriba del sistema para evitar su pronta colmatación. En las zanjas se puede alcanzar con franjas vegetadas; mientras que en los pozos se pueden implementar una rejilla que impida la entrada de basura y sedimentos.
- Evaluar la conveniencia de introducir un elemento de disipación de la energía, para evitar la erosión.
- Se puede diseñar una depresión poco profunda sobre las zanjas y pozos para potenciar el almacenamiento de agua para su posterior paso hacia a la capa drenante.
- El sistema debe incluir el rebose controlado, a través de un aliviadero, p. ej.
- Considerar incluir un bordillo perimetral que alerte de la existencia del sistema y prevenga la invasión de vehículos, pero que al mismo tiempo permita la entrada de escorrentía.
- Una abertura de inspección visual posibilita la inspección de su funcionamiento desde la superficie. Esta abertura puede realizarse con un tubo ranurado que es anclado verticalmente a la base del sistema.
- La pendiente longitudinal de la base de la zanja no debería exceder el 3 %; siendo lo más preferible que sea horizontal (tolerancia de la base: 10 mm en 3 m), para aumentar el área de infiltración. Si la pendiente es pronunciada, se podrían introducir barreras transversales para aumentar el volumen de almacenamiento útil.
- Las pendientes laterales de la zanja no deberían ser mayores a 1H:3V (se tendrá que evaluar la estabilidad del terreno). Este requisito podría omitirse si la zanja es poco profunda (p. ej. 500 mm de profundidad).
- Se puede incluir un conducto drenante longitudinalmente para distribuir el agua a lo largo de la zanja.
- El ancho mínimo de las zanjas es de 0,30 m por razones constructivas.
- El diámetro de los pozos suele ser de 1 a 3 m. Los pozos de infiltración sin revestir suelen alcanzar una profundidad de 1 a 2 m, y los pozos revestidos, de 1,5 – 4 m.
- La presencia de vegetación en los alrededores aumenta la efectividad de la infiltración al reducir la velocidad de la escorrentía y mantener y mejorar la porosidad del terreno. Sin embargo, los árboles y la vegetación de gran porte deben plantarse alejados del sistema para prevenir que las raíces penetren en el mismo.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Inspeccionar los elementos de pretratamiento, la superficie de infiltración, la abertura de inspección y el rebose. En su caso, retirar los sedimentos, hojas y la basura.	Mensualmente
Inspeccionar que la reja del pozo se encuentra en su lugar. En caso de pérdida, reponer.	Mensualmente
Recortar las raíces que puedan causar bloqueos del sistema.	Anualmente
Inspeccionar la entrada de agua en búsqueda de cárcavas. En su caso, colocar un elemento disipador energía.	Anualmente
Inspección técnica de la superficie de infiltración en búsqueda de posibles zonas colmatadas.	Anualmente o después tormenta
Comprobar que la zanja o el pozo se vacía tras 48 h después del evento de lluvia.	
Retirar y reemplazar los primeros 20 cm del medio drenante y reemplazar geotextil superficial.	Cada 10 años

EJEMPLOS



Zanja de infiltración en Lino Lakes (Minnesota). Fuente: Minnesota Pollution Control Agency (2019).



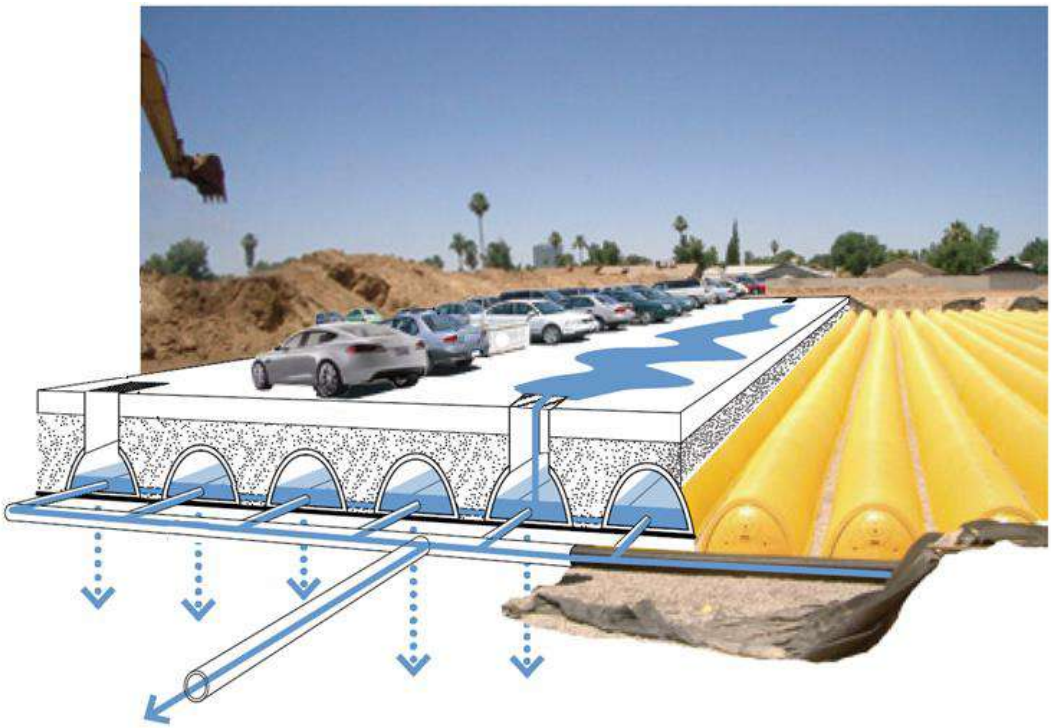
Pozo de infiltración en el parque de los Juegos del Mediterráneo 2018, Tarragona. Fuente: SET Enginyeria.



Zanjas de infiltración en la C/ Alfonso XIII con C/ Paraguay de Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.



Zanja de infiltración en Alcalá de Guadaira (Sevilla). Fuente: Green Blue Management.



Fuente: University of Arkansas Community Design Center (2010).



Depósito reticular con sistema Ecobloc. Fuente: Graf.

DEPÓSITOS RETICULARES

DESCRIPCIÓN

Son estructuras subterráneas que recogen la escorrentía de áreas impermeables adyacentes para almacenarla temporalmente y, posteriormente, infiltrarla al subsuelo (si es posible) o bien liberarla lentamente (laminación).

El almacenamiento se puede crea con **estructuras reticulares de polipropileno**, con un alto índice de huecos (en torno al 90%) y con una elevada capacidad portante. La escorrentía puede entrar al depósito por filtrado (p. ej. con un área de biorretención sobre éste) o por un conducto (p. ej. tras ser tratada por un separador hidrodinámico). Cuando en el depósito se permita la infiltración, la escorrentía debe entrar al sistema tratada convenientemente.

El depósito se forma mediante los siguientes elementos:

- Cama de apoyo formada por una capa granular o de arena, que permite el apoyo del depósito sobre una base estable y uniforme.
- Componente estructural mediante estructuras modulares reticulares de polipropileno (suelen ser cajas o túneles), que proporcionan rigidez y resistencia a las cargas. Estas unidades se ensamblan para formar el propio depósito y se pueden instalar en varias hileras, si así se requiere.
- Relleno lateral compuesto generalmente por gravas, que completa el relleno de la excavación del depósito.
- Componente de protección a través de capas de geotextil, que envuelven, por un lado, el material reticular, y por otro, al depósito, para impedir la entrada de terreno al mismo.

FUNCIÓN

Principal: Infiltración

Secundarias: Detención

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	★★★
Control del volumen de escorrentía	★★☆
Control de la calidad del agua	★☆☆
Beneficios para la biodiversidad	☆☆☆
Multifuncionalidad de la actuación	☆☆☆
Aprovechamiento del agua	☆☆☆

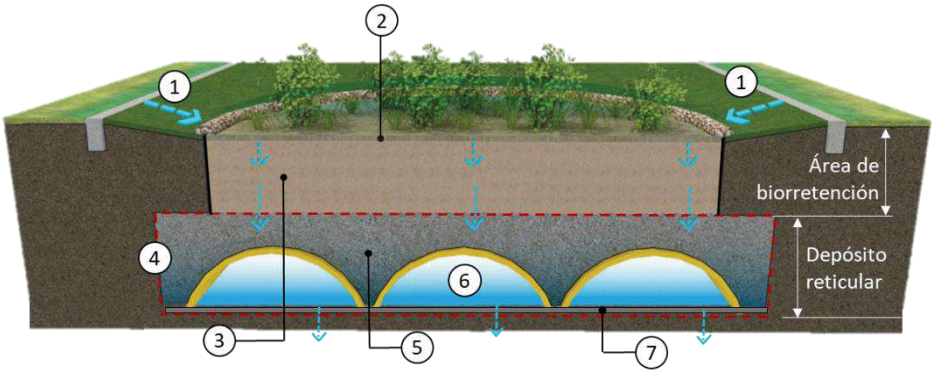
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Sí
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	N/A
Metales	N/A
Hidrocarburos	N/A

ESQUEMA CONCEPTUAL



Área biorretención (opcional)
1. Flujo superficial
2. Tierra vegetal para desarrollo de la vegetación
3. Medio filtrante

Depósito reticular
4. Geotextil
5. Relleno con gravas
6. Componente estructural con cajas/túneles de polipropileno
7. Cama de apoyo

Depósito reticular con entrada de escorrentía por filtrado con un área de biorretención.
Fuente: Adaptado de University of Cincinnati (2016).

BENEFICIOS

- ☑ Cuando son de infiltración, se reducen los volúmenes de escorrentía de manera significativa, propiciando la recarga de acuíferos.
- ☑ Alta capacidad de laminación de caudales.
- ☑ Al ser modulares, flexibles en el tamaño y forma y ligeros, se adaptan a las condiciones del terreno y son fáciles de instalar (sin maquinaria pesada y en poco tiempo).
- ☑ Al ser estructuras con capacidad portante, permiten su instalación en un amplio rango de lugares: debajo de viales (de baja intensidad de tráfico), presencia de vehículos ligeros, aparcamientos, áreas recreativas, etc.
- ☑ Al ser subterráneos son compatibles con otras instalaciones en superficie. Por ello, son recomendables en proyectos donde el espacio es limitado.

LIMITACIONES

- ☒ Para contar con infiltración se ha de tener un área con elevada permeabilidad (> 10^{-6} m/s), el nivel freático por debajo de su base (al menos 1 m) y que no se asiente sobre material de relleno no controlado.
- ☒ Requieren de un elemento de tratamiento adicional, pues por sí mismos tienen poca capacidad de tratamiento.
- ☒ Tiene un coste mayor en comparación al almacenamiento superficial.
- ☒ La falta de visibilidad superficial crea riesgos adicionales en el mantenimiento (p. ej. bloqueo o fallo no identificados que no puedan ser reparados a tiempo).
- ☒ No proporcionan beneficios para el paisaje urbano como otras técnicas SUDS.

CRITERIOS DE DISEÑO

- Para contar con infiltración, el terreno debe tener una permeabilidad > 10^{-6} m/s y el nivel freático estar, al menos, 1 m por debajo de la base del depósito.
- La base de excavación debe ser lo más horizontal posible (tolerancia de la base: 10 mm en 3 m), para asegurar que la escorrentía se distribuye uniformemente en todo el sistema.
- El volumen útil se podrá estimar con un porcentaje de huecos del 90 % (o siguiendo las indicaciones del fabricante).
- No suele ser necesario contabilizar la pérdida de volumen disponible por la acumulación de sedimentos, pues, normalmente, se cuenta con un 10% de volumen adicional al redondear el tamaño del depósito para formar una estructura rectangular y tener en cuenta el material granular circundante.
- La altura del depósito debe ser diseñada para que en 48 h el sistema se haya vaciado, por infiltración o bien de forma controlada por un elemento de salida (produciendo la deseada laminación).
- La cama de apoyo suele estar compuesta por una capa de gravas de 0,10 - 0,20 m de espesor.
- Se aconseja evitar diseños con formas complicada, que dificulte la instalación del geotextil y aumente el riesgo de entrada de terreno al depósito.
- Es importante considerar la inclusión de módulos específicos para ser utilizados como cámaras de sacrificio (tratamiento) y de inspección y mantenimiento.
- Se debe realizar un análisis estructural y seleccionar el sistema que resista las cargas a las que se verá sometido a lo largo de su vida útil. En su caso, resolver el posible problema de flotación.
- El pretratamiento es crucial para evitar la colmatación del sistema y poder infiltrar al terreno en condiciones seguras. Puede realizarse:
  - En línea con la combinación de otras técnicas SUDS aguas arriba del depósito, como áreas de biorretención, cunetas vegetadas, drenes filtrantes, o pequeñas balsas de detención.
  - Sobre el propio depósito, permitiendo un pequeño almacenamiento en superficie para su posterior filtración a través de un medio filtrante, una capa de gravas o con el empleo de pavimento permeable. De este modo, la escorrentía se filtra a través de estas capas, tratando su calidad antes de alcanzar el almacenamiento subsuperficial.
  - Con una tecnología instalada bajo tierra antes de la entrada de escorrentía al depósito, como son separadores hidrodinámicos o filtros compactos, entre otros.
- Hay que diseñar un bypass de emergencia o rebose para los eventos que sobreexcedan los eventos de diseño.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Eliminar las hojas y sedimentos que puedan colmatar u obstruir los elementos del sistema.	Mensualmente
Revisión ordinaria en busca de daños estructurales.	Semestralmente
Para los sistemas donde la escorrentía se filtra directamente al depósito desde la superficie, inspeccionar ésta buscando posibles zonas encharcadas.	Semestralmente y después de fuertes lluvias
Comprobar que no queda agua en el depósito 48 horas después de la última lluvia	
Inspección ordinaria de todos los elementos (entrada, salida, rebose, etc.) para verificar que están operando en buenas condiciones.	Anualmente
Cuando el agua entra al depósito con tratamiento diferente a un filtrado, inspeccionar el interior de éste (zona de sacrificio) para identificar la posible acumulación de sedimentos y retirarlos.	Anualmente
Inspeccionar, retirar y reemplazar el medio de la superficie de filtración.	Según necesidad
Reparación de daños estructurales, en caso de existir.	Según necesidad
Inspeccionar el interior del depósito en búsqueda de acumulación de sedimentos y, en su caso, eliminarlos.	Cada 5 años o sea necesario

EJEMPLOS



Depósito reticular en Cementerio de Villaverde (Madrid). Fuente: Atlantis.



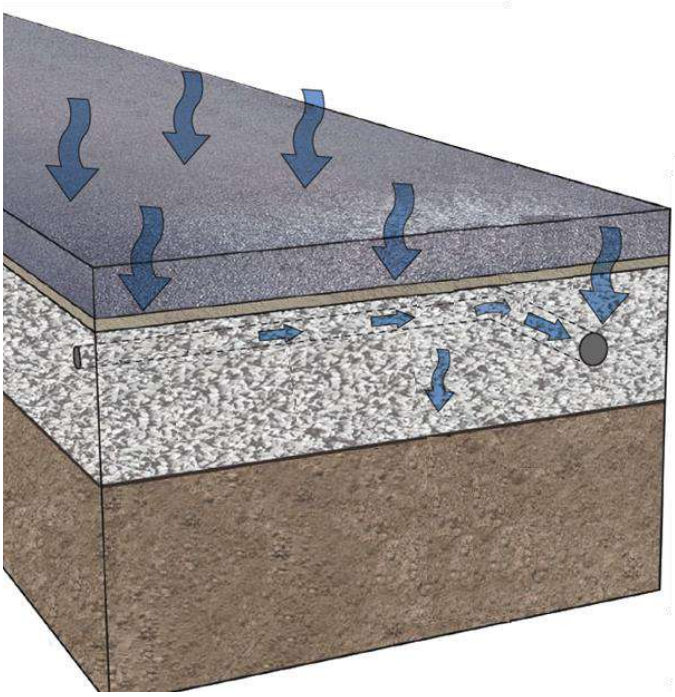
Depósito reticular en Sector 3 Landaida, Berango (Bizkaia). Fuente: Drenatura.



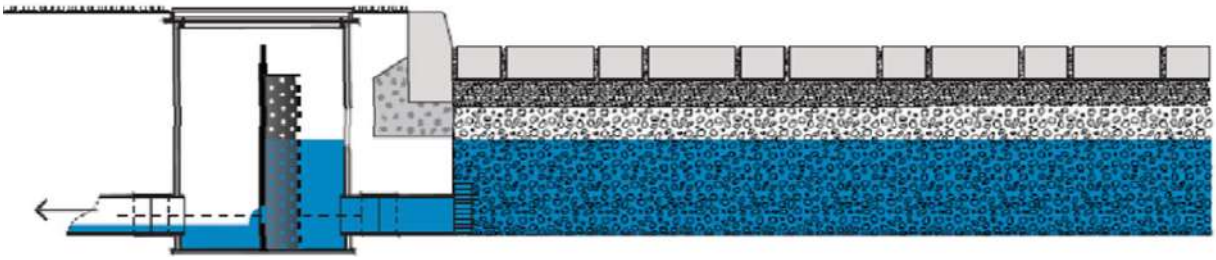
Depósito reticular en el Parque Central de Valencia. Fuente: Hidrostank.



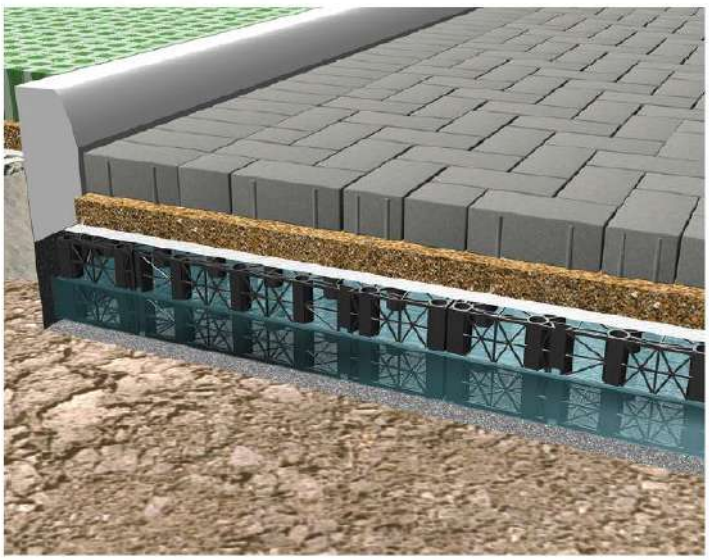
Depósito reticular en Mas Camarena (Bétera, Valencia). Fuente: Green Blue Management.



Fuente: Clean Water Services (2009).



Fuente: London Borough of Haringey (2018).



Fuente: Woods-Ballard *et al*. (2015).

PAVIMENTOS PERMEABLES

DESCRIPCIÓN

Son pavimentos que permiten el tránsito de peatones y/o vehículos y, a su vez, la filtración de la escorrentía hacia las capas inferiores. El agua se almacena temporalmente en la subbase (compuesta por gravas, celdas y/o cajas reticulares) antes de su infiltración al terreno o su descarga controlada aguas abajo mediante drenes. En función de la superficie permeable, se diferencian en:

- Pavimentos porosos: filtran el agua a través de toda su superficie, la cual puede está compuesta por asfalto permeable, hormigón permeable o sistemas de malla o geocelda.
  - *Asfalto y hormigón permeable*: son similares al asfalto y hormigón convencionales, pero permite el paso de agua a través de los huecos que existen en el agregado.
  - *Pavimento vegetado o sistema de malla/geocelda*: son estructuras reticuladas de hormigón o de plástico que están rellenas de terreno vegetado o grava, por donde el agua puede percolar.

- Pavimentos permeables por junta: tienen una superficie que está formada por un material que en sí mismo es impermeable pero que, en su diseño o instalación, se crean huecos a través de los que se filtra el agua. Son unidades estructurales, como adoquines de hormigón o cerámicos, donde los huecos están rellenos con material permeable como gravillín, arena o vegetación, ofreciendo una superficie permeable que ayuda a filtrar los sedimentos y los contaminantes de la escorrentía.

FUNCIÓN

Principal: Filtración

Secundarias: Infiltración

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	☆☆☆
Control del volumen de escorrentía	☆☆☆
Control de la calidad del agua	☆☆☆
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	☆☆☆
Aprovechamiento del agua	★★★

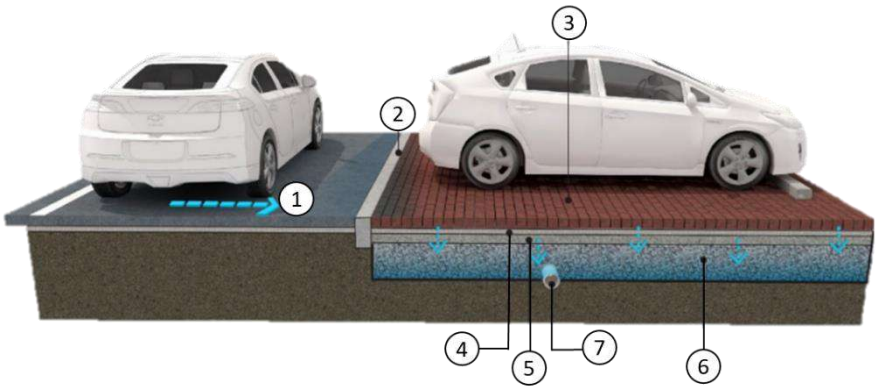
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Sí
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,7
Metales	0,6
Hidrocarburos	0,7

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Escorrentía de áreas impermeables adyacentes
2. Bordillo rebajado/discontinuo que permite la entrada de escorrentía
3. Pavimento permeable por junta de adoquín
4. Capa de apoyo de gravillín
5. Capa de transición con gravas medianas
6. Capa de almacenamiento con gravas gruesas
7. Conducto drenante embebido (si fuera necesario)

Fuente: Adaptado de University of Cincinnati (2016).

BENEFICIOS

- ☑ Elevados rendimientos en la reducción de contaminantes presentes en las primeras aguas de escorrentía, pues retiene sedimentos, aceites, hidrocarburos, metales pesados y algunos nutrientes.
- ☑ Retrasan el caudal pico (al contar con almacenamiento subsuperficial en origen) y el volumen de escorrentía (en mayor medida cuando se cuenta con infiltración al terreno).
- ☑ Hacen más segura la superficie para los vehículos, al reducir el patinaje, eliminar los charcos y mejorar la visibilidad.
- ☑ Contribuye a reducir el efecto urbano isla de calor, al evaporarse el agua de la subbase.
- ☑ Pueden ser implementados en línea con los pavimentos impermeables en proyectos de regeneración.

LIMITACIONES

- ☒ No son recomendados para áreas con gran volumen de tráfico ni con vehículos pesados.
- ☒ El riesgo principal de fallo es la colmatación. Por ello, no se puede emplear para captar la escorrentía de zonas sin pavimentar/vegetadas o cuencas con alta presencia de finos o arrastres.
- ☒ Para rehabilitar estas superficies cuando se han colmatado, puede ser necesaria maquinaria muy específica.
- ☒ Muchas calles de Castellón incluyen una subbase de hormigón impermeable que debería ser eliminada para introducir pavimento permeable de forma efectiva.
- ☒ En la actualidad, para su correcta construcción se requiere de personal especializado.

CRITERIOS DE DISEÑO

- El propio pavimento permeable es el elemento de captación, para ello la relación de área permeable que gestiona las áreas impermeables adyacentes suele ser 2:1 (impermeable:permeable).
- Deben ser diseñados para recibir la escorrentía directamente de las zonas adyacentes. Las áreas vegetadas no pueden drenar directamente, salvo que se incluya un elemento pretratamiento (como una franja filtrante o zanja de infiltración) para evitar su colmatación. Su emplazamiento ubicado inteligentemente y adecuados métodos de construcción previenen su colmatación.
- Si la permeabilidad del terreno es ≥ 10^{-6} m/s se puede considerar la evacuación por infiltración. En caso contrario, instalar un conducto drenante en la base para transportar la escorrentía aguas abajo.
- El pavimento permeable ha de tener una permeabilidad mínima testada de 4.500 mm/h. Se sugiere que el ratio de infiltración facilitado por el distribuidor del pavimento permeable se le aplique un factor de seguridad de 10 para tener en cuenta la colmatación a largo plazo.
- El espesor de las capas que conforman el pavimento permeable debe ser diseñado acorde a las cargas de tráfico esperadas. Respecto a la subbase, debe ser dimensionada para almacenar el volumen de diseño.
- La tipología de pavimento será seleccionada en función del uso esperado (cargas de tráfico), su apariencia (se pueden emplear diferentes colores y diseños según los propósitos funcionales y estéticos) y las condiciones climáticas de Castellón.
- El agua almacenada temporalmente en la subbase debe evacuarse en menos de 48 h.
- En terrenos con elevada pendiente (> 3%), se suele incluir terrazas (barreras transversales al flujo) en la subbase para aumentar el volumen de almacenamiento. Si, por el contrario, el terreno es muy plano, entonces la inclinación para favorecer el transporte de escorrentía (si fuera necesario), se realiza en la subbase y/o en el conducto dren (al menos 0,5%).
- Para evitar el lavado del gravillín de las capas superiores del pavimento permeable se instala un geotextil. Además, si se permite la infiltración, se aconseja instalar un geotextil entre la subbase y el terreno natural.
- Se ha de tener cuidado en la preparación del terreno y evitar su compactación, pues reduce la capacidad de infiltración del sistema.
- El sistema debe ser envuelto en una geomembrana (membrana impermeable y flexible) si:
  - El agua quiere ser almacenada para su aprovechamiento.
  - La escorrentía tiene alto contenido de contaminantes y puede contaminar el terreno y las aguas subterráneas,
  - El lugar está contaminado y hay riesgo de movilizar estos contaminantes.
  - El nivel freático está a menos de 1 m de la base del sistema.
- La localización de servicios enterrados, presentes y futuros, debe tenerse en cuenta para garantizar la instalación de pavimento permeable a largo plazo.

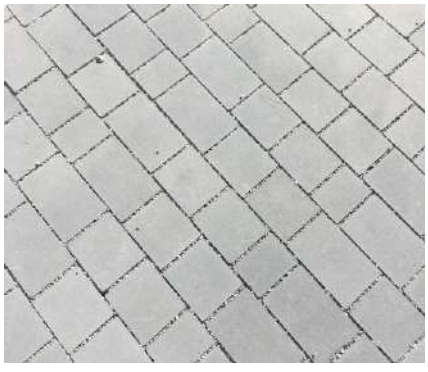
MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Barrido en seco o aspiración estándar sobre toda la superficie (normalmente en primavera y otoño).	Semestralmente
Inspección ordinaria para detectar zonas colmatadas o crecimiento de vegetación no deseada.	Semestralmente
Eliminar/recortar la vegetación no deseada sobre el pavimento y áreas adyacentes.	Anualmente
Corrección de niveles de vegetación o tierra de superficies adyacentes se hayan elevado hasta 50 mm del nivel del pavimento.	Cuando se requiera (cada 5 años)
Reparación de cualquier depresión, grieta o adoquín rotos que comprometa la capacidad estructural del pavimento o un riesgo para los usuarios, y reemplazo del material de las juntas.	
Rehabilitación de la superficie y la parte superior de la sub-base mediante aspiración en profundidad, si se ha reducido la permeabilidad significativamente por colmatación.	Cada 10-15 años

EJEMPLOS



Aparcamiento de hormigón permeable en la piscina cubierta de Benaguasil (Valencia). Fuente: Green Blue Management.



Adoquín permeable por junta en Parc d'Esplai de Bétera (Valencia). Fuente: Green Blue Management.

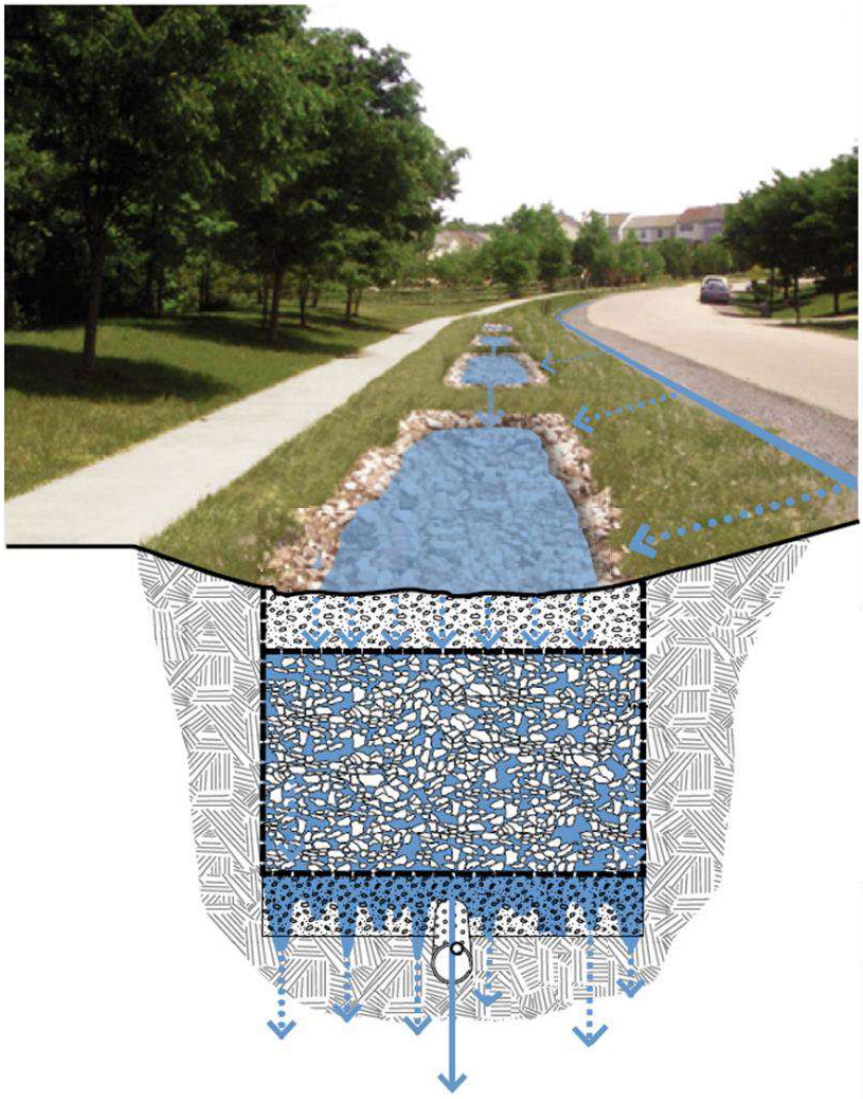


Pavimentación cerámica permeable en C/ Torre Sant Vicent Benicàssim (Castellón). Fuente: LIFE CERSUDS.

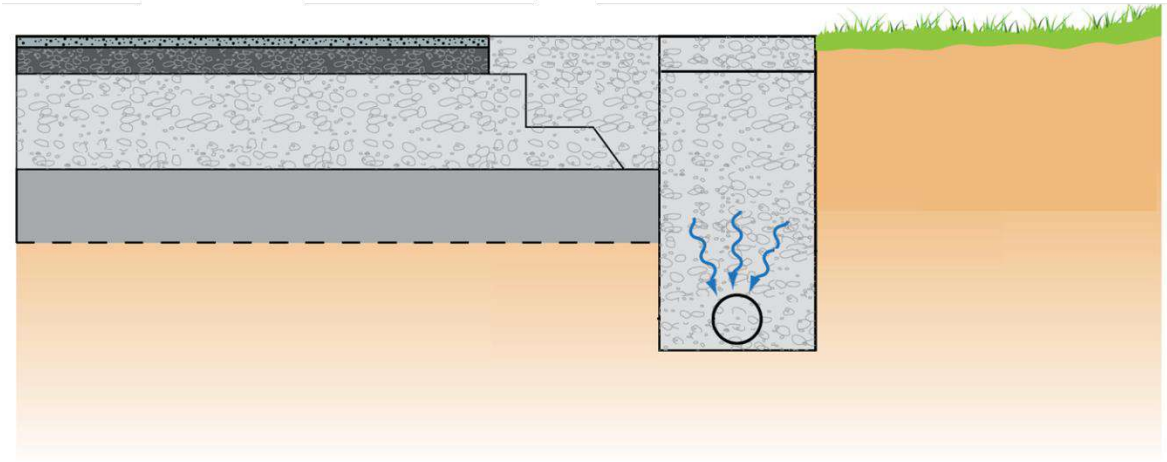


Hormigón permeable en Estadio Wanda Metropolitano (Madrid). Fuente: Ayuntamiento de Madrid.





Fuente: University of Arkansas Community Design Center (2010).



Fuente: NHBC Foundation (2010).

DRENES FILTRANTES

DESCRIPCIÓN

Los drenes filtrantes son zanjas de poca profundidad que están rellenas de un **material filtrante** y cuentan con un **conducto drenante** en su base (adicionalmente puede tener otros). Su cuenca drenante la componen las áreas impermeables adyacentes. La escorrentía, que suele alcanzar la zanja por sus laterales, se filtra y almacena temporalmente en el material de relleno, logrando la laminación de caudales. Después, es transportada aguas abajo a través del conducto drenante y, de forma secundaria, se puede producir cierta infiltración. También se puede incluir un conducto drenante más superficial que sirva para transportar el rebose.

Como material de relleno, generalmente, se emplean gravas o cajas/túneles reticulares de polipropileno. Este material de relleno está envuelto en un geotextil perimetral, con el fin de evitar la migración de finos del terreno y, con ello, la reducción del volumen útil. En caso de que se quiera garantizar la estanqueidad, el geotextil debe ser sustituido por (o acompañado de) una geomembrana (impermeabilización del sistema).

Para prolongar su vida útil y prevenir su colmatación, es aconsejable incorporar un geotextil independiente a poca profundidad (aprox. a 20-30 cm) que retenga los sedimentos.

Además, se podría considerar un sistema de pretratamiento, como una franja filtrante.

La característica que diferencia a los drenes filtrantes de las zanjas de infiltración es que en los primeros prima la función de transporte del agua de lluvia, y no la infiltración.

FUNCIÓN

Principal: Filtración

Secundarias: Detención

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	☆☆★
Control del volumen de escorrentía	☆★★
Control de la calidad del agua	☆☆★
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	☆★★
Aprovechamiento del agua	★★★

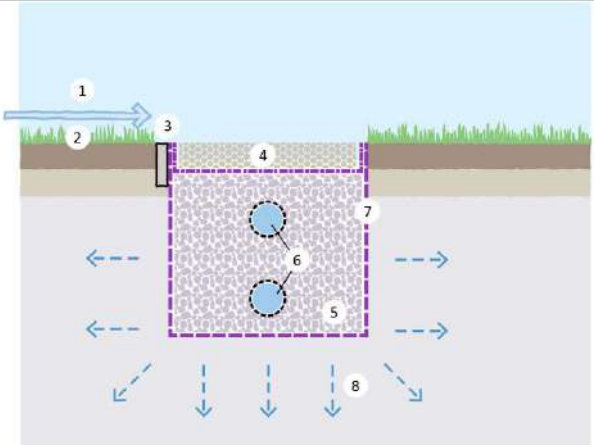
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Depende
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,4
Metales	0,4
Hidrocarburos	0,4

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Entrada de escorrentía superficial por los laterales.
2. Franja vegetada como sistema de pretratamiento.
3. Elemento de contención (opcional)
4. Capa de gravas envuelta en un geotextil superficial, que retiene los sedimentos. Puede ser retirada fácilmente para limpiar las gravas. Para mejorar la estética, pueden ser gravas blancas decorativas.
5. Material de relleno (gravas o cajas envueltas en geotextil)
6. El conducto drenante embebido inferior transporta el caudal de salida y, opcionalmente, el superior el rebose.
7. Geotextil perimetral. Se puede sustituir por una geomembrana si se requiere impermeabilizar el sistema.
8. Si es posible, infiltración.

Fuente: Adaptado de London Borough of Haringey (2018).

BENEFICIOS

- ☑ Contribuye a la mejora de la calidad de la escorrentía, reduciendo los contaminantes mediante su filtración.
- ☑ Al contar con almacenamiento temporal, consiguen la laminación de caudales.
- ☑ Dado su función de captación y transporte, se pueden emplear para sustituir a redes de imbornales y colectores, sobre todo en parques.
- ☑ Son de aplicación tanto en terrenos permeables como impermeables; siendo especialmente útiles en lugares con baja permeabilidad.
- ☑ Son relativamente económicas y consumen poco espacio. Al tener una forma lineal y recibir la escorrentía por los laterales, suele emplearse en obras lineales, como caminos y carreteras.

LIMITACIONES

- ☒ Al tratarse de una técnica enterrada, existen problemas de operación que no son siempre visibles en superficie. Siendo el riesgo más frecuente que no se identifique la colmatación del material drenante, por ello es tan limitante la consideración de pretratamiento.
- ☒ Requiere inspecciones regulares para controlar la sedimentación.
- ☒ No son aconsejables cuando existen fuertes pendientes.
- ☒ En zonas de fuertes arrastres se deben considerar elementos de pretratamiento.
- ☒ No contribuyen al desarrollo del hábitat local y el potencial de mejorar la estética del lugar es limitado.

CRITERIOS DE DISEÑO

- En el proceso de diseño es necesario:
  - Seleccionar el material filtrante, identificar el volumen de huecos y su permeabilidad; pues debe ser suficientemente alto para permitir la percolación del agua, evitar el bloqueo de la estructura y que, a la vez, permita la eliminación de contaminantes.
  - Dimensionar la zanja para que almacene todo el volumen de diseño.
  - El volumen de huecos depende del material de relleno empleado (Se puede considerar un índice de huecos del 30 % para las gravas y un 90 % para las estructuras de polipropileno).
  - Dimensionar el conducto drenante de la base que capte y transporte la escorrentía aguas abajo.
  - Si se considera necesario, dimensionar un conducto drenante superficial para transportar el rebose.
- El material de relleno puede ser gravas o cajas/túneles reticulares de polipropileno. Para un mismo volumen de excavación, el empleo de cajas/túneles permite contar con un mayor volumen de almacenamiento y mayor capacidad de transporte, pero la capacidad de tratamiento es menor.
- Son técnicas lineales que deben ser diseñadas para funcionar paralelas a la superficie que drenan.
- El sistema suele tener una profundidad total entre 1 y 2,5 m.
- El espesor mínimo de la capa de gravas es de 0,5 m para lograr una reducción de contaminantes considerable.
- El ancho de la zanja depende, entre otros, del diámetro del conducto drenante y el recubrimiento lateral.
- Es recomendable una sección cóncava que permita la concentración de la escorrentía hacia el conducto drenante.
- El conducto drenante de la base puede ocupar todo el recorrido de la zanja drenante, aunque se requiere principalmente en su tramo final.
- La pendiente longitudinal de la zanja no debería exceder el 2 % para ralentizar la escorrentía y aumentar la reducción de contaminantes, así como la infiltración si fuera posible.
- El sistema debe quedar completamente vacío tras 48 h para poder albergar tormentas sucesivas.
- Por lo general, son estructuras en línea y, por ello, se debe garantizar que el caudal de rebose no genere daños y sea transportado, con seguridad, aguas abajo, pudiéndose emplear un conducto drenante más superficial o un aliviadero.
- Para evitar la pérdida de material filtrante y su deterioro por el tránsito de vehículos, se suelen instalar bolardos o bordillos intermitentes.
- Es aconsejable instalar un conducto drenante vertical para la inspección visual del interior de la zanja. Cuando el conducto drenante de la base sea > 50 m de longitud, es necesario instalar arquetas de registro.
- Pueden ser empleadas para transportar la escorrentía hacia otras técnicas como balsas, estanques o humedales.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Retirar hojas y basura.	Mensualmente
Retirar sedimentos (al menos cuando alcance el 50 % de la zona de entrada/pretratamiento)	Semestralmente
Revisión ordinaria de los elementos de entrada, salida y rebose en búsqueda de posibles obstrucciones. En su caso, reparar.	Semestralmente
Revisión ordinaria en busca de daños estructurales, áreas erosionadas y encharcamientos; comprobar la integridad del geotextil y controlar posibles daños de raíces de árboles en la sub-base.	Semestralmente
Inspección técnica de las superficies de filtración buscando posibles zonas colmatadas y encharcamientos (comprobar que no queda agua en la sub-base 48 horas después de la última lluvia).	Semestralmente
Retirar y reemplazar los primeros 20 cm y reemplazar el geotextil superficial.	Cada 10 años
Limpiar el conducto drenante si queda bloqueado.	Si es necesario

EJEMPLOS



Dren filtrante en Carretera A74 Escocia. Fuente: Cambridge City Council (2009).



Dren filtrante en la nueva sede del BBVA (Madrid). Fuente: Ayto. de Madrid.

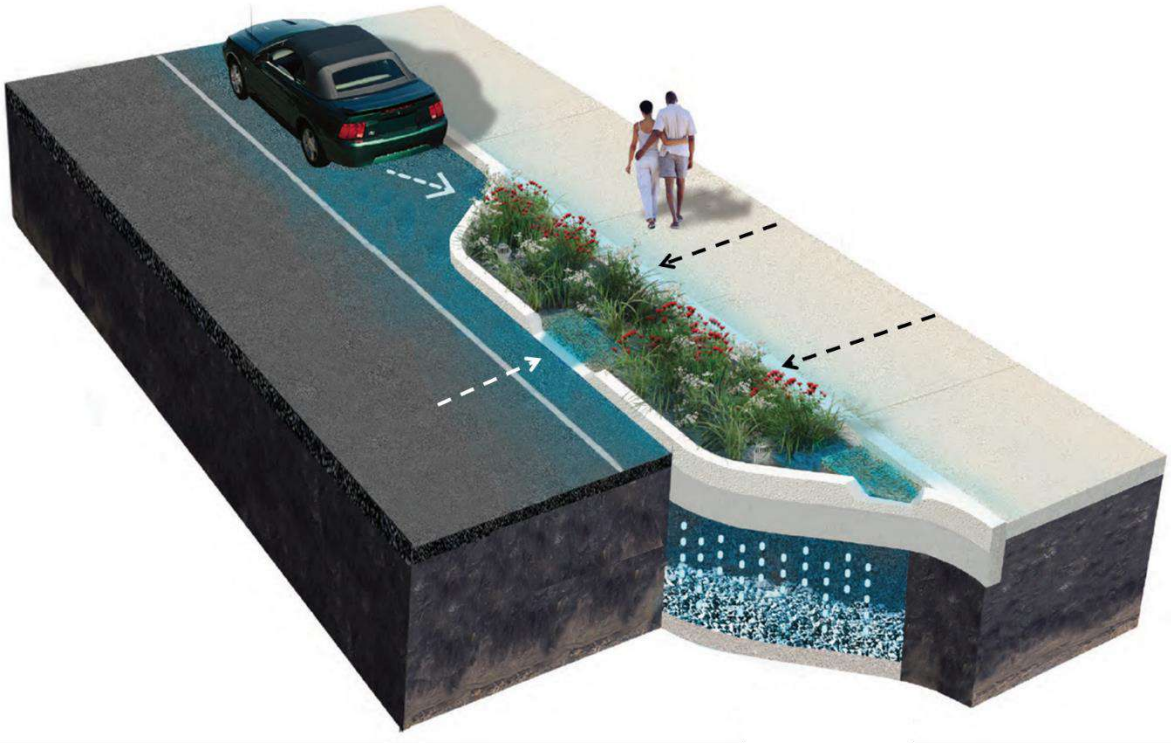


Dren filtrante en la C/ Alfonso XIII con C/ Paraguay de Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

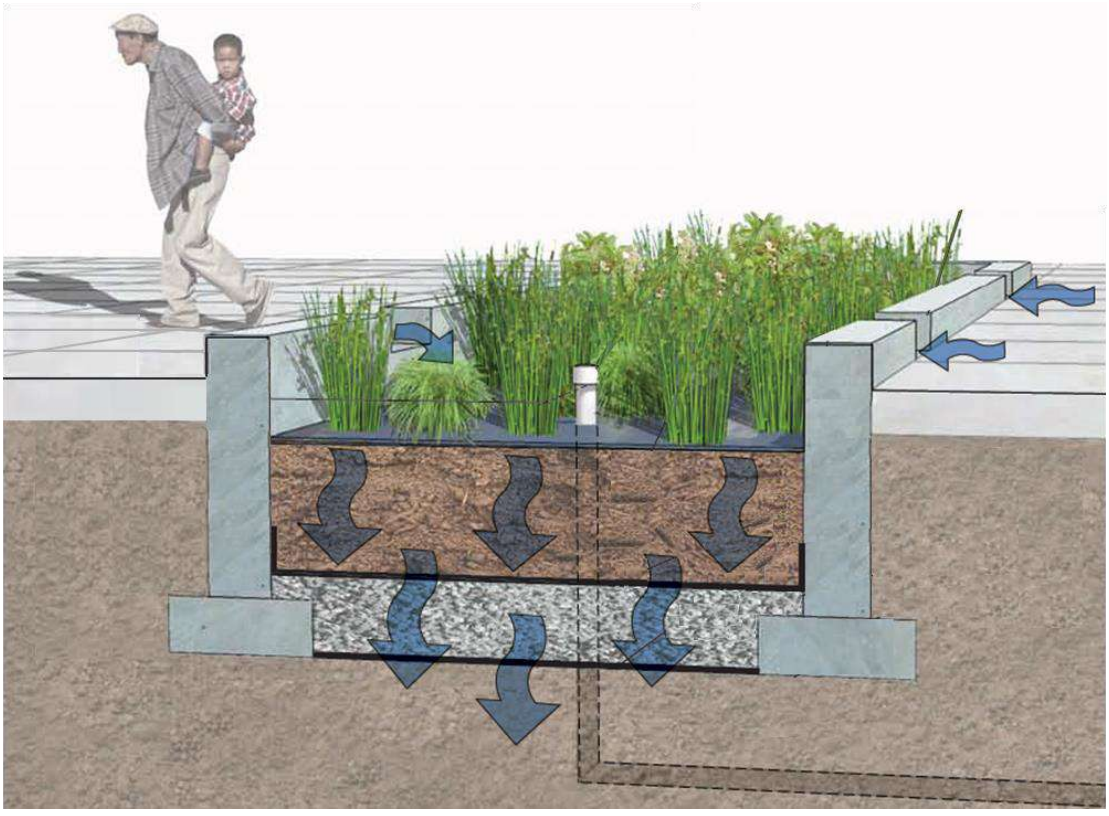


Zanja drenante en Crevillent (Alicante). Fuente: Green Blue Management.





Fuente: Philadelphia Water Department (2014).



Fuente: Clean Water Services (2016).

PARTERRES INUNDABLES

DESCRIPCIÓN

Los parterres inundables son zonas vegetadas que están rebajadas para almacenar en superficie la escorrentía que proviene de las áreas impermeables adyacentes. La escorrentía se filtra, antes de su infiltración al terreno (en su caso), a través de las siguientes capas:

- Capa de mantillo o suelo acolchado: protege al medio filtrante de la erosión y ofrecer un medio para el crecimiento de la vegetación.
- Medio filtrante: su función principal es filtrar y adsorber los contaminantes presentes en la escorrentía. En función de su espesor, se divide en:
  - **Jardines de lluvia** (JL): gestionan las escorrentías con niveles bajos de contaminación (p. ej. aceras, cubiertas) y el medio filtrante suele tener un espesor de 0,30 – 0,50 m.
  - **Áreas de biorretención** (AB): gestionan el agua de lluvia que tienen elevados niveles de contaminantes (p. ej. calzadas, viarios) y la capa del medio filtrante está entre 0,80 – 1 m.
- Capa de transición: previene el lavado de finos del medio filtrante a la capa drenante. Puede emplearse un geotextil.
- Capa drenante: si el terreno es lo suficientemente permeable, esta capa no es necesaria. En caso contrario, esta capa de material granular tiene un conducto drenante embebido en su base para transportar la escorrentía aguas abajo.

FUNCIÓN

Principal: Tratamiento

Secundarias: Infiltración

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	★★☆
Control del volumen de escorrentía	★★☆
Control de la calidad del agua	★★★
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	★★★
Aprovechamiento del agua	☆☆☆

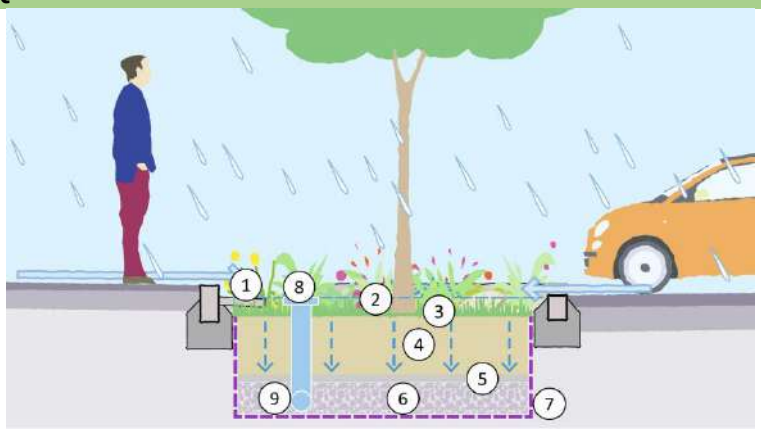
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Sí
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	JL:0,6 - AB:0,8
Metales	JL:0,5 - AB:0,8
Hidrocarburos	JL:0,6 - AB:0,8

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Disipador de energía
2. Almacenamiento en superficie
3. Vegetación y capa de mantillo o suelo acolchado
4. Medio filtrante
5. Capa de transición
6. Capa drenante
7. Geotextil o geomembrana (si fuera necesaria)
8. Elemento de rebose
9. Conducto drenante (si fuera necesario)

Fuente: Adaptado de London Borough of Haringey (2018).

BENEFICIOS

- ☑ Ofrecen un efectivo tratamiento de los sedimentos y contaminantes presentes en la escorrentía.
- ☑ Al contar con infiltración, contribuyen a reducir el volumen de escorrentía y atenuar los caudales.
- ☑ Consumen poco espacio y son muy flexibles, pudiéndose adaptar e integrar en cualquier lugar.
- ☑ Crean paisajes más atractivos al utilizar diferentes formas, materiales, vegetación y dimensiones.
- ☑ Son una técnica sencilla, fácil de instalar y de coste reducido (más costosa en el caso de AB).
- ☑ Crean hábitats para animales pequeños e incrementan la biodiversidad local.
- ☑ Mejoran la calidad del aire y benefician el clima local a través de la vegetación.
- ☑ Son una barrera física entre viandantes y vehículos, mejorando la seguridad vial.

LIMITACIONES

- ☒ Están limitados a áreas con elevada permeabilidad (> 10^{-6} m/s), con el nivel freático por debajo de su base (al menos 1 m) si se cuenta con la infiltración (también pueden ser drenadas).
- ☒ El vaciado debe producirse en menos 48 h para evitar el estancamiento de la escorrentía.
- ☒ Es necesario un mantenimiento constante de la vegetación para mantener su densidad y su estética. No está permitido el empleo de fertilizantes o productos químicos, para evitar la contaminación la escorrentía.
- ☒ No aconsejables en zonas con elevadas pendiente (o emplear escalonamientos); deben emplazarse cerca de la generación de escorrentía.
- ☒ Existe el riesgo de colmatación del medio filtrante en cuencas con muchos finos.

CRITERIOS DE DISEÑO

- Para contar con el vaciado por infiltración en 48 h: el terreno debe contar con una permeabilidad > 10^{-6} m/s; el nivel freático, al menos, 1 m por debajo de la base del parterre (para evitar la entrada de agua al sistema); y estar lo suficientemente alejados a la cimentación de edificios o estructuras cercanas.
- El ancho suele ser > 0,6 m (valores inferiores son difíciles de construir) y las pendientes laterales no deben exceder el 3H:1V, para mejorar la seguridad y evitar la erosión en la entrada al sistema. En zonas de edificación densa, pueden concebirse como maceteros semienterrados, introduciendo disipadores de energía.
- La entrada de agua al sistema puede realizarse con bordillos intermitentes, para minimizar la erosión y dirigir uniformemente la escorrentía; a la vez que impiden la entrada al tráfico rodado (si lo hubiera). También se aconseja un área de vegetación densa en la entrada que sirva de pretratamiento y evaluar algún dispositivo de disipación de energía para prevenir la erosión.
- Para quedar del lado de la seguridad, se considera que el volumen de diseño únicamente se emplaza en el almacenamiento superficial.
- El almacenamiento temporal en superficie tiene una profundidad máxima de 0,15 – 0,30 m. La base debe ser tan plana como sea posible para favorecer la distribución uniforme de escorrentía a lo largo del medio filtrante. Si la pendiente es elevada, se aconseja utilizar pequeñas represas.
- La vegetación debe cubrir por completo el sistema y ser densa (normalmente del orden de 6-10 plantas/m^2) para potenciar la filtración, con especies autóctonas adaptadas a las condiciones ambientales locales y resistir a condiciones extremas (tanto de inundación como sequía) y ser perenne antes que caduca. También previene la erosión y sus raíces ayudan a mantener la permeabilidad del medio filtrante.
- Al elegir el material de la capa de mantillo, en caso de que se requiera, se considerarán diversos factores, como la flotabilidad del material.
- El medio filtrante puede estar compuesto por 50% tierra vegetal, 40% arena de sílice y 10% compost. Para controlar el tiempo de estancia del agua de lluvia y favorecer la sedimentación, mejorando la eficiencia ante la eliminación de contaminantes, el medio filtrante debe tener una permeabilidad comprendida entre 100 y 300 mm/h.
- La capa de transición puede reemplazarse por un geotextil, con la adecuada especificación de tamaño de poro, resistencia y permeabilidad, para evitar su colmatación o rotura.
- Para los eventos extremos se dirige la escorrentía aguas abajo mediante una estructura de alivio.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Retirar hojas, basura, sedimentos y hierbas no deseadas de la superficie de infiltración.	Mensualmente
Eliminar los sedimentos acumulados en la entrada (> 10 cm o 25% del volumen total) y aquellos que se queden atrapados en el aliviadero.	Mensualmente
Riego (especialmente en los 1.^{os} años) y labores de mantenimiento para mantener una buena densidad de vegetación y, en caso de ser necesario, replantar áreas con poca vegetación.	Mensualmente
Revisión ordinaria para detectar la acumulación de sedimentos, encharcamientos, daños en la vegetación, erosión, etc.	Semestralmente
Inspección técnica de las estructuras de entrada y de la superficie de infiltración, y evaluación del tiempo de vaciado (debe ser menor de 48 h) para determinar las necesidades de mantenimiento (por ej. escarificar la superficie de infiltración).	Semestralmente y después de fuertes lluvias
Rellenar zonas erosionadas y, si fuera necesario, mejorar la protección contra la erosión.	Cuando sea necesario
Realización de ensayo de permeabilidad al medio filtrante para determinar la necesidad de acciones correctivas.	Bienalmente

EJEMPLOS



Parterre inundable en Washington DC (EE.UU.) Fuente: Green Blue Management.



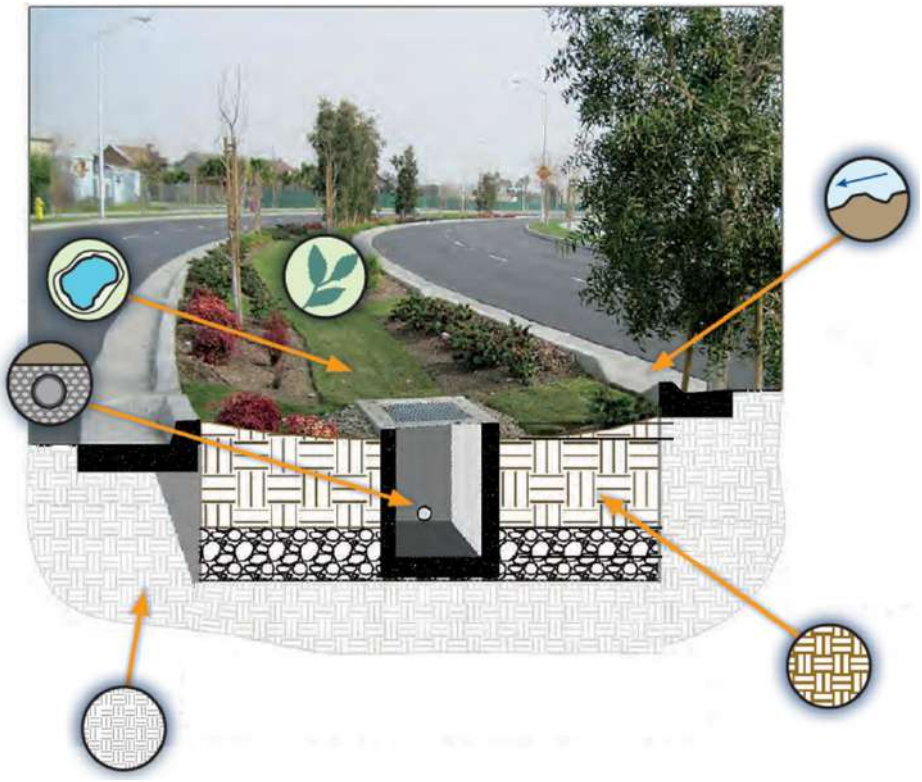
Parterre inundable en Bon Pastor (Barcelona). Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU).



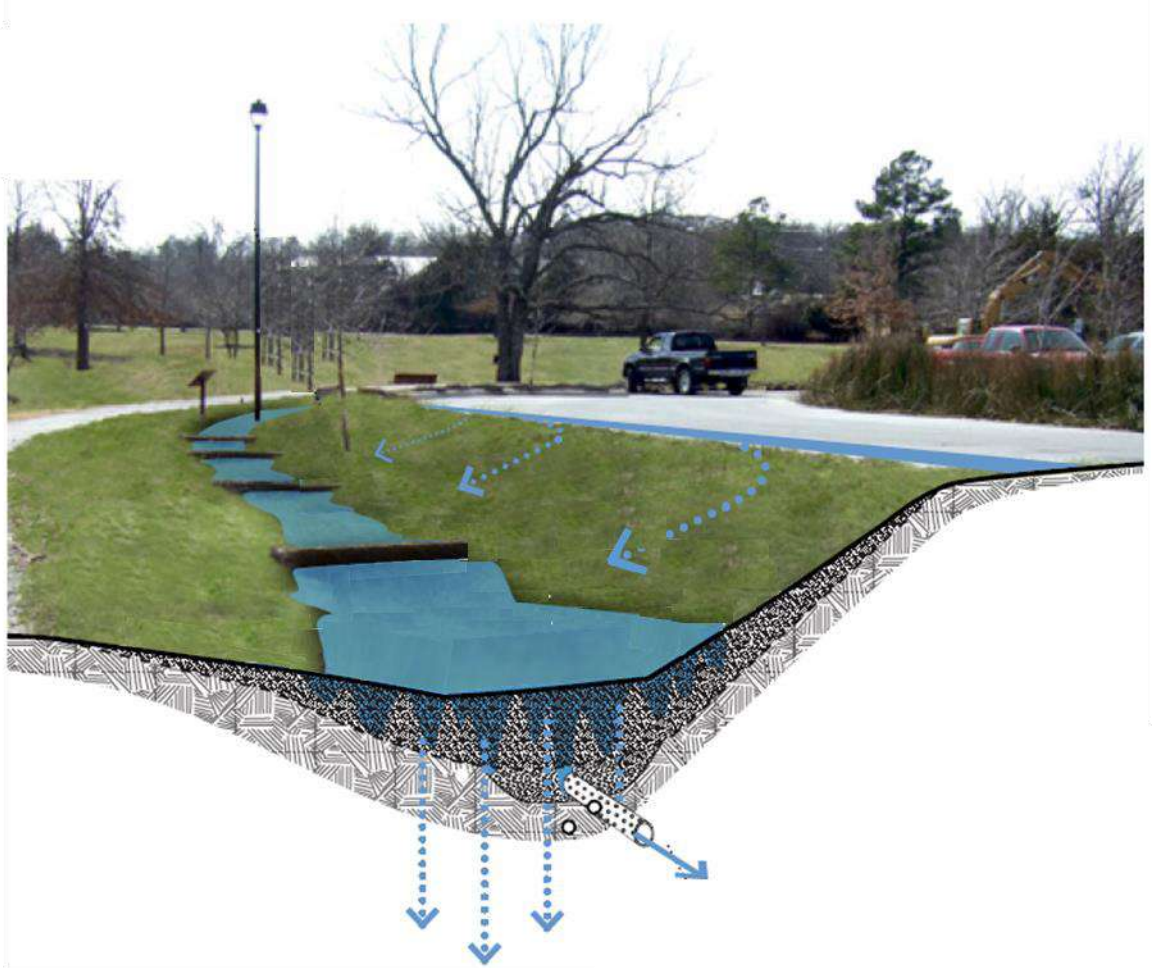
Parterre inundable en La Marina (Barcelona). Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU).



Parterre inundable en Bon Pastor (Barcelona). Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU).



Fuente: City of San Diego (2016).



Fuente: University of Arkansas Community Design Center (2010).

CUNETAS VEGETADAS

DESCRIPCIÓN

Son estructuras lineales anchas y de poca profundidad, cubiertas de vegetación, que permiten captar, filtrar y, cuando las condiciones del terreno lo permiten, infiltrar la escorrentía. Cuentan, en general, con pendientes laterales ligeras, con el fin de no presentar riesgos para la seguridad y salud.

La escorrentía de las áreas impermeables adyacentes drena de forma homogénea y directamente por los laterales de la cuneta, en vez de entrar por una única zona. Esto minimiza la erosión y distribuye los contaminantes por la zona vegetada.

La vegetación favorece la eliminación de contaminantes a través de la sedimentación, la filtración, la evapotranspiración y la infiltración al terreno. Además, puede contar con barreras transversales que favorezcan el almacenamiento temporal para aumentar la detención e infiltración; así como reducir la velocidad de la escorrentía

Se suelen emplear en viales, caminos o aparcamientos, donde es conveniente captar la escorrentía desde entradas distribuidas en corredores. También puede reemplazar la necesidad de tuberías, al tener la funcionalidad de transporte de escorrentía hacia otras técnicas SUDS.

Para prevenir que los coches aparquen sobre sus laterales se pueden instalar bordillos intermitentes, que a su vez permitan la entrada de la escorrentía.

FUNCIÓN

Principal: Tratamiento

Secundarias: Infiltración

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	★★☆
Control del volumen de escorrentía	★☆☆
Control de la calidad del agua	★★★
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	★★☆
Aprovechamiento del agua	★☆☆

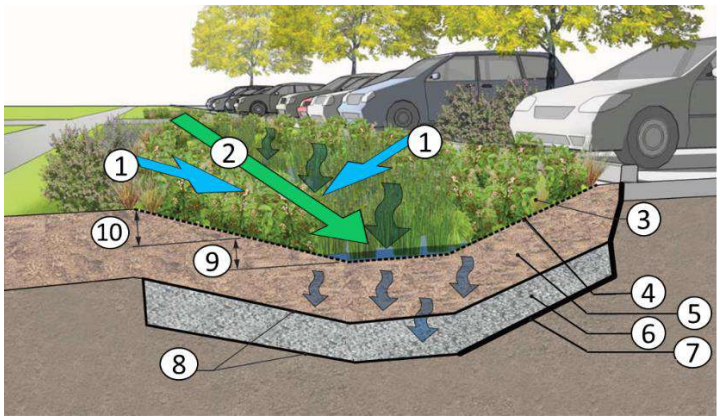
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Depende
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,5
Metales	0,6
Hidrocarburos	0,6

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Entrada lateral de escorrentía
2. Pendiente longitudinal 0,5 - 5 %
3. Altura de vegetación en torno a 15 cm, para favorecer la sedimentación.
4. Pendiente lateral máxima 1V:3H y, cuando sea posible, 1V:4H.
5. Medio filtrante
6. Capa drenante (opcional)
7. Geomembrana en el lado de la calzada para su protección (opcional)
8. Geotextil (opcional)
9. Altura máxima de agua en eventos frecuentes: 2/3 la altura de la vegetación para garantizar el tratamiento de la escorrentía
10. Resguardo

Fuente: Adaptado de Clean Water Services (2016).

BENEFICIOS

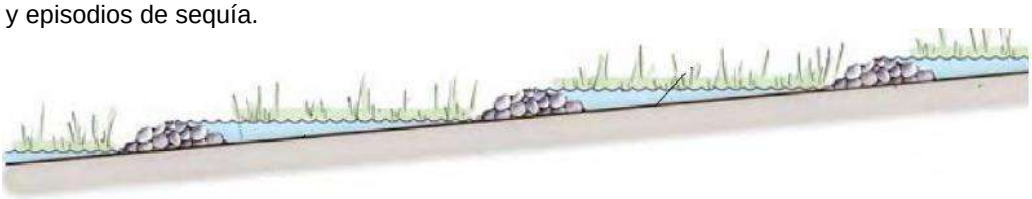
- ☑ Tienen un buen rendimiento en la reducción de contaminantes en origen, o siendo parte de una cadena como pretratamiento, pues dan lugar a procesos físicos de infiltración, deposición y filtración.
- ☑ Son particularmente sencillas, económicas y efectivas para captar y transportar la escorrentía; p. ej. hacia otro SUDS (desconexión áreas impermeables).
- ☑ Cuando incluye barreras transversales, ralentiza la escorrentía y aumenta el rendimiento de eliminación de sedimentos, favoreciendo su infiltración.
- ☑ Mejora la estética de lugar y, en función de la vegetación seleccionada, contribuye a la biodiversidad.
- ☑ Al ser poco profundas (en general), no presentan un riesgo importante para la seguridad.
- ☑ Son mucho más fáciles de mantener en lugares con altas cargas de sedimentos que otras técnicas.

LIMITACIONES

- ☒ Su efectividad en eliminación de contaminantes depende del tipo de vegetación, su cobertura (debe cubrirla por completo) y su mantenimiento.
- ☒ Limitaciones por la pendiente del terreno, tanto por ser muy elevada como muy tendida.
- ☒ Para ser seguras, necesitan taludes tendidos, lo que supone un elevado consumo de espacio. Por ello no se suelen emplear en áreas densas.
- ☒ Deben estar cerca de la cuenca drenante.
- ☒ La resuspensión de sólidos es posible.
- ☒ Requiere de elementos que prevengan el aparcamiento de vehículos, pues pueden arruinar la vegetación, compactar el terreno y generar flujos preferentes que produzcan erosión.
- ☒ No se permite el empleo de fertilizantes o herbicidas porque pueden contaminar la escorrentía.

CRITERIOS DE DISEÑO

- Normalmente se emplea la sección trapezoidal o parabólica, pues son fáciles de construir y mantener, y ofrecen un buen rendimiento hidráulico.
- La base de la cuneta suele ser de 0,5 – 3 m, pudiendo ser más anchas o estrechas dependiendo de las condiciones del lugar.
- La pendiente longitudinal de la cuneta suele estar entre 0,5 – 5%. Para pendientes > 3% se debería incluir elementos de contención transversal, permitiendo así incluir cunetas hasta pendientes del 10 %.
- Si la pendiente longitud es < 1,5 % y no se cuenta con la infiltración, se aconseja la introducción de conductos drenantes en la base.
- Los elementos de contención transversal o terrazas se instalan en intervalos uniformes según el objetivo de diseño (p. ej. aumentar el volumen de almacenamiento para su infiltración) y se pueden construir de conglomerados gruesos, madera, gaviones u hormigón. Deben alcanzar hasta los laterales para garantizar que no se produce el bypass de la estructura y un pequeño orificio o una tubería en la base de esta barrera transversal que permita la salida aguas abajo (si no se cuenta con infiltración). Se deben instalar disipadores de energía, tanto en la base como en los laterales de la cuneta, aguas abajo de estos elementos.
- Las pendientes laterales deben ser tan tendidas como sea posible, para permitir el pretratamiento, garantizar la seguridad y facilitar el acceso para su mantenimiento; pero sin que se estanque el agua. Elevadas pendientes pueden generar que el caudal de entrada erosione la cuneta. Por ello, se recomiendan pendientes máximas de 1V:3H y, cuando sea posible, 1V:4H.
- El diseño debe tener una capacidad adecuada para transportar y/o almacenar el evento de diseño; transportar en condiciones de seguridad los eventos extremos, en su caso, hacia áreas de almacenamiento temporal o siguiente elemento de transporte; y estar vacías en 48 h para albergar las sucesivas tormentas.
- Es necesario diseñar una estructura de rebose para transportar controladamente el caudal excedente aguas abajo. Como la cuneta es una estructura lineal, es probable que necesite más de una estructura de rebose.
- La vegetación seleccionada debería ser autóctona para garantizar una cobertura densa y duradera. Además, es aconsejable que se integre con las características del paisaje local y que se adapte a inundaciones periódicas y episodios de sequía.



Esquema de elementos de contención con cantos. Fuente: Alameda Countywide Clean Water Program (2016).

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Eliminar sedimentos, basura y hierbas no deseadas de la superficie de la cuneta.	Mensualmente
Regar y recortar la vegetación para mantener la altura de vegetación dentro del rango de diseño (10-15 cm).	Mensualmente
Inspeccionar los elementos de entrada, salida y rebose en búsqueda de bloqueos y, si fuera necesario, limpiar.	Mensualmente
Inspeccionar la superficie de infiltración en búsqueda de encharcamientos, zonas compactadas o erosionadas y comprobar que se produce el vaciado en menos de 48 h.	Mensualmente
Repoblar las áreas con poca vegetación (cuando haya más del 10% de suelo desértico). Si fuera necesario, cambiar el tipo de vegetación para adaptarse mejor a las condiciones.	Cuando sea necesario
Reparar o rehabilitar los elementos de entrada, salida y pretratamiento.	
Reperfilar y nivelar las superficies irregulares y restaurar la topografía de diseño.	Cada 10 años

EJEMPLOS



Cuneta vegetada en Xàtiva (Valencia). Fuente: Green Blue Management.



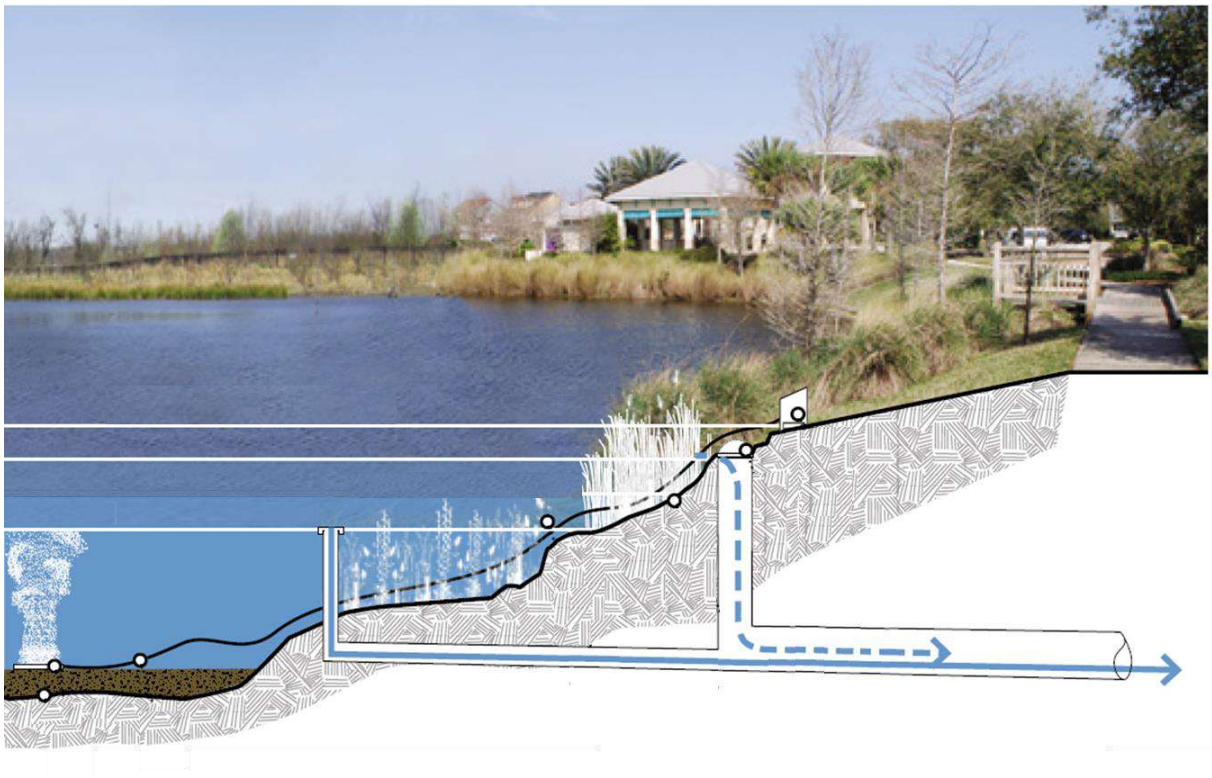
Cuneta vegetada en Seattle (USA). Fuente: MLSmith.



Cuneta vegetada en Seattle (EE.UU.). Fuente: Stephen C. Grey & Associates.



Cuneta vegetada en el Anillo Deportivo de los Juegos del Mediterráneo 2018 (Tarragona). Fuente: SET Enginyeria.



Estanque. Fuente: Adaptado de Arkansas Community Design Center (2010).



Humedal artificial. Fuente: University of Tennessee (2013).

HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES

DESCRIPCIÓN

Son lagunas artificiales que mejoran la calidad de la escorrentía mediante la sedimentación de contaminantes y los procesos biológicos. Están compuestos principalmente por:

- Una **lámina de agua permanente** (almacenamiento muerto), que sirve para evitar la resuspensión de los sedimentos. Esta lámina debe poder mantenerse durante todo el año.
- Sobre la lámina permanente, se encuentra una **lámina de agua variable** (almacenamiento vivo), que contribuye al control del caudal pico de salida.

Cuando la lámina de agua sobrepasa el almacenamiento permanente, la escorrentía es detenida y descargada lentamente aguas abajo a través de la estructura de rebose.

Cuentan con vegetación en su franja perimetral, que potencia la sedimentación, a la vez que filtra los nutrientes y contaminantes (pretratamiento) y promueve la oxigenación. Además, sirve para estabilizar las pendientes laterales, prevenir la erosión y mejorar la estética del espacio.

Son medidas a nivel de cuenca porque, generalmente, se utilizan para laminar y tratar el agua que no ha podido ser gestionada en origen. Los humedales se utilizan, principalmente, para mejorar la calidad del agua; en cambio, los estanques se emplean, generalmente, para controlar grandes volúmenes de escorrentía. Por otro lado, los humedales se diferencian de los estanques en su reducida profundidad, mayor cobertura vegetal y el sustento de un hábitat extensivo.

FUNCIÓN

Principal: Tratamiento

Secundarias: Detención

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	★★☆
Control del volumen de escorrentía	★☆☆
Control de la calidad del agua	★★☆
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	★★☆
Aprovechamiento del agua	★☆☆

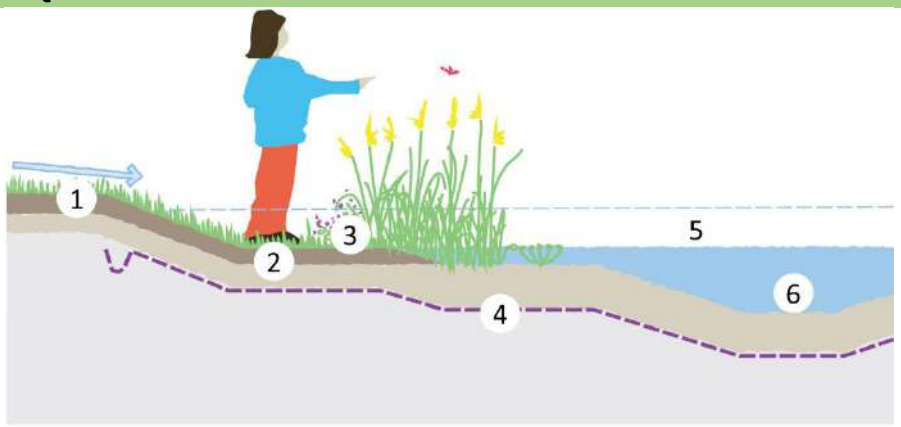
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	No
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	No

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	H:0,8 - E:0,7
Metales	H:0,8 - E:0,7
Hidrocarburos	H:0,8 - E:0,5

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Entrada escorrentía superficial por los laterales
2. Perfil permite el acceso fácil y seguro para las labores de mantenimiento
3. Franja vegetada como sistema de pretratamiento
4. En caso de terreno permeable, se puede incluir una geomembrana
5. Volumen variable
6. Volumen permanente

Fuente: Adaptado de London Borough of Haringey (2018).

BENEFICIOS

- ☑ Son eficaces en la eliminación de los contaminantes de las aguas pluviales (especialmente los humedales) y en la reducción de los caudales punta (principalmente los estanques).
- ☑ Flexibilidad ante eventos de lluvias de diferente magnitud gracias al volumen variable.
- ☑ Es una técnica aconsejable cuando se trata de cuencas de gran magnitud.
- ☑ Pueden albergar una gran variedad de especies vegetales y crear hábitats.
- ☑ Ofrecen beneficios paisajísticos y de mejora del entorno visual de las ciudades, contribuyen a aumentar el valor de la propiedad y atraen negocio y turismo.
- ☑ Es una técnica con buena aceptación por la comunidad, ofreciendo recursos educacionales, mediante la instalación de paneles informativos.

LIMITACIONES

- ☒ No ofrecen una gran reducción de volumen de escorrentía.
- ☒ Consumen un elevado espacio; especialmente los humedales al ser poco profundos. Por ello, no son prácticos en áreas densa y altamente urbanizadas.
- ☒ Requieren una gran área drenante para tener un buen ratio coste-efectividad.
- ☒ Conseguir que la lámina de agua se permanente, en periodos secos, puede ser un reto.
- ☒ No son adecuados para suelos permeables, salvo que se incluya una membrana impermeable.
- ☒ Requieren de otros SUDS previos para prevenir la entrada de una elevada cantidad de sedimentos.
- ☒ La acumulación de sedimentos disminuye el almacenamiento, requiriendo un coste elevado de dragado y eliminación de sedimentos y residuos.

CRITERIOS DE DISEÑO

- Los estanques se evalúan a partir de las 2 – 4 ha de área impermeable y los humedales, de 4 – 10 ha, pues suelen ser elementos de final de línea. Para valores menores, la sección del conducto de salida puede tener que ser muy pequeña para atenuar los caudales, aumentando el riesgo de su obstrucción. En tales casos, se deberá considerar elementos de control de flujo especiales (p. ej. válvulas de vórtice).
- No se aconsejan en zonas de elevada pendiente, en terrenos inestables, permeables o áreas sensibles.
- Es necesario incluir una membrana impermeable si el terreno es permeable o si existe riesgo de contaminar las masas de agua.
- Deben tener un diseño naturalizado, con bordes blandos y ondulados, que le aporten carácter al lugar.
- Pueden crearse utilizando depresiones naturales, excavando nuevas depresiones o construyendo taludes. En ningún caso se podrán emplear masas naturales de agua.
- La entrada de escorrentía puede producirse directamente por los laterales o por un conducto. En ambos casos se deben instalar disipadores de energía para minimizar el riesgo de lavado y erosión (p. ej. escollera).
- Para favorecer la sedimentación, se potencia el tiempo de residencia del agua, ya que tiene una relación directa con la eficiencia en la eliminación de contaminantes. Por ello, la distancia entre la entrada y salida de agua debe ser máxima; con un ratio longitud-ancho mínimo de 3:1 para evitar circuitos de agua cortos.
- Es práctica habitual incluir una cámara de pretratamiento en la zona de entrada de escorrentía.
- Los humedales se suelen dividir en diferentes vasos/cámaras mediante el uso de bermas o taludes, para incrementar el tiempo de residencia.
- Las pendientes laterales del estanque suelen ser 3H:1V por razones de seguridad, deben tener el pie protegido con escollera y pueden albergar plantas.
- No es aconsejable volúmenes permanentes de menos de 1,20 m de profundidad, ya que existe el riesgo de que se sequen en épocas sin lluvias o que su superficie se colonice con vegetación. Si la lámina de agua es > 1,50 m, se recomienda cierta recirculación para prevenir el estancamiento y la aparición de algas.
- Los humedales tienen diferentes profundidades para imitar las funciones de los humedales naturales y controlar la extensión de la vegetación. La profundidad en el centro del humedal suele ser 1,20 m y se utilizan cámaras de 0,60 m o menos, ya que es la profundidad donde tiene lugar la mayoría de actividades biológicas.
- El volumen variable depende de las necesidades de control de caudal pico y suele ser menor de 0,60 m.
- Es necesaria una estructura de rebose sobre el nivel de agua máximo para garantizar la seguridad, y suele dejase un resguardo de 0,30 m. Se debe incluir una ruta segura para las labores de mantenimiento.
- Es necesaria la correcta señalización de prohibición del baño y que identifique la presencia de zonas temporal y permanente de agua, especialmente si es de gran profundidad, para garantizar la seguridad ciudadana.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Retirada de hojas, basura y materiales flotantes.	Mensualmente
Recortar la vegetación y eliminar las hierbas no deseadas.	Mensualmente
Inspeccionar los elementos de entrada y salida de agua, cualquier elemento mecánico que hubiera, colectores, etc. en búsqueda de evidencia de bloqueos y/o daños físicos.	Mensualmente
Inspeccionar la acumulación de sedimentos y establecer ratios de frecuencia para su eliminación.	Mensualmente
Inspección en búsqueda de cualquier índice de contaminación del agua.	Mensualmente
Recortar manualmente plantas acuáticas sumergidas y emergentes; recortar el 25% de la vegetación de la orilla a un mínimo de 1 m sobre el nivel de agua.	Anualmente
Airear si hay señales de eutrofización.	Trienalmente
Eliminación de sedimentos si hay una celda/cámara de pretratamiento.	Trienalmente
Si no hay vaso/cámara de pretratamiento, eliminación de sedimentos y vegetación de tan sólo el 25 - 30% de superficie del estanque (con el fin de afectar la biodiversidad lo menos posible).	Quinquenalmente
Eliminar los sedimentos cuando el volumen permanente se reduzca en un 20 %.	Cada 25-50 años

EJEMPLOS



Estanque en Cincinnati, EEUU.
Fuente: Green Blue Management.



Estanque en Lyon, Francia.
Fuente: Green Blue Management.

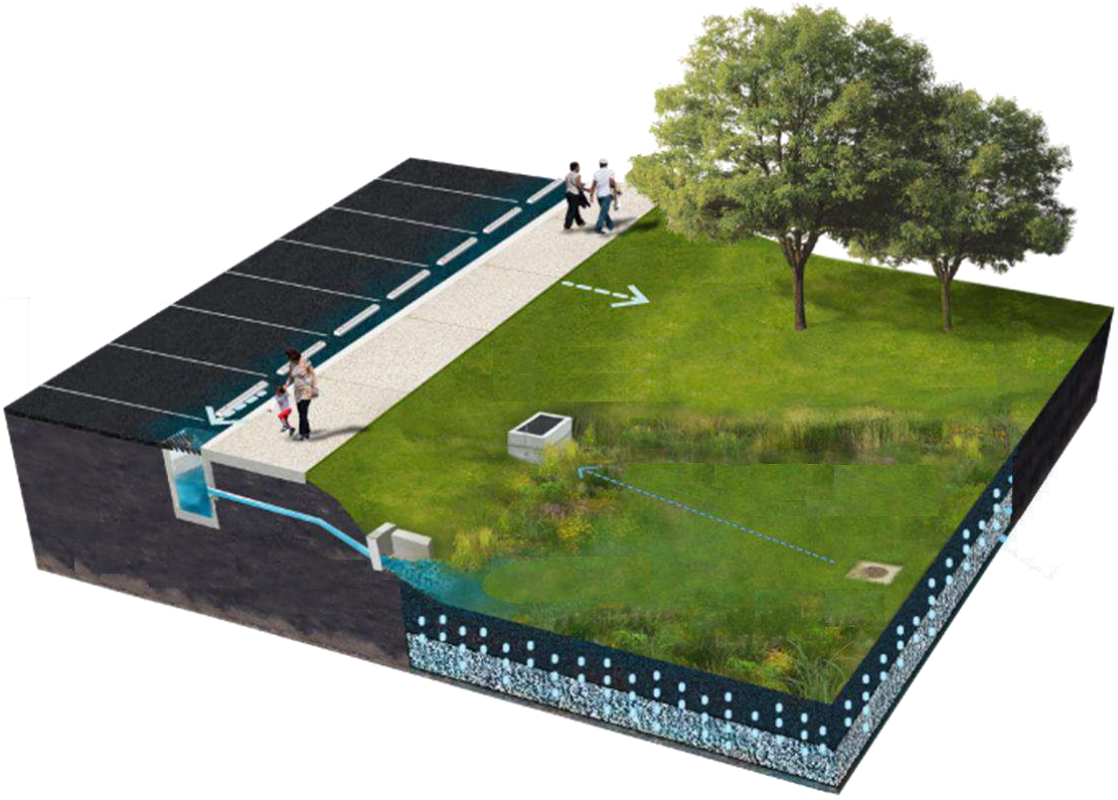


Humedal artificial en Lyon, Francia.
Fuente: Green Blue Management.



Estanque en el Anillo Deportivo de los Juegos del Mediterráneo 2018 (Tarragona). Fuente: SET Enginyeria.





Balsa de infiltración. Fuente: Minnesota Pollution Control Agency (2019).



Balsa de detención. Fuente: Alameda County Works Agency (2019).

BALSA DE DETENCIÓN E INFILTRACIÓN

DESCRIPCIÓN

Son depresiones vegetadas que se mantienen habitualmente secas; pero que, en eventos de lluvia, ofrecen un almacenamiento temporal superficial de escorrentía. Después, liberan la escorrentía lentamente, proporcionando una laminación del caudal punta. Se dividen en:

- **Balsas de detención (BD):** laminan los caudales con un desagüe de fondo controlado.
- **Balsas de infiltración (BI):** permiten la evacuación de la escorrentía a través de la infiltración en el suelo.

Generalmente, se dimensionan para que se llenen y vacíen en menos de 48 h, tras las lluvias, para estar disponibles en el siguiente evento de precipitación.

La escorrentía es filtrada por la vegetación en el recorrido que realiza dentro de la balsa. Además, dicho recorrido facilita la sedimentación de partículas contaminantes.

Se pueden diseñar con dos tipos de instalaciones:

- **En línea**: la escorrentía **drena** directamente de las zonas adyacentes.
- **En paralelo**: la escorrentía que no puede ser gestionada en el curso principal del sistema se desvía a la balsa.

FUNCIÓN

Principal: Detención

Secundaria: Infiltración

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	★★★
Control del volumen de escorrentía	★★☆
Control de la calidad del agua	★★☆
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	★★☆
Aprovechamiento del agua	★☆☆

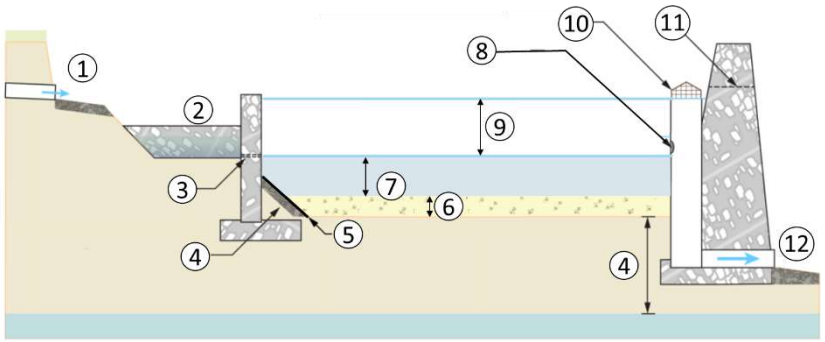
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	No
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	No

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	BD:0,5 – BI:0,6
Metales	BD:0,5 – BI:0,5
Hidrocarburos	BD:0,6 – BI:0,6

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Entrada protegida con disipador de energía
2. Primer vaso de sedimentación
3. Conexión entre vasos
4. Distancia al NF mín. de 1 m
5. Geomembrana impermeable
6. Medio filtrante
7. Máxima altura de infiltración
8. Aliviadero
9. Resguardo de seguridad
10. Control de salida con rejas
11. Aliviadero de emergencia
12. Salida

Fuente: Adaptado de New Jersey Department of Environmental Protection (2016).

BENEFICIOS

- ☑ Reducen el caudal punta al liberar lentamente la escorrentía almacenada. Por ello, es una medida contra el riesgo de inundación.
- ☑ Contribuyen a controlar la calidad de la escorrentía; principalmente, por sedimentación, y la BI, además, mediante la filtración a través del terreno.
- ☑ Los costes de construcción y mantenimiento son, generalmente, bajos.
- ☑ Al ser estructuras superficiales, los fallos de funcionamiento se detectan fácilmente.
- ☑ Se puede incorporar fácilmente en el entorno por su flexibilidad en forma y apariencia.
- ☑ Pueden ser multifunción, empleándose como parques o áreas de recreo y deporte en tiempo seco.
- ☑ Pueden incluir gran variedad de vegetación, contribuyendo a la biodiversidad y creando hábitats.

LIMITACIONES

- ☒ Comprometen un espacio elevado. Además, las pendientes bajas tienden a mejorar el aspecto estético, pero también consumen más espacio.
- ☒ Puede producirse la resuspensión de los materiales sedimentados, requiriendo la eliminación de los contaminantes periódicamente.
- ☒ Si alberga otros usos, como practicar deporte, el suelo puede compactarse y deteriorarse, necesitando labores de mantenimiento con más frecuencia.
- ☒ BI: La aplicación de fertilizantes y herbicidas debe ser evitada para minimizar la entrada de contaminantes y nutrientes al subsuelo.
- ☒ BD: El conducto de salida puede obstruirse fácilmente si no es correctamente diseñado y mantenido.

CRITERIOS DE DISEÑO

- La permeabilidad del terreno debería ser < 10^{-6} m/s para evaluar la balsa de detención (BD), pues si es mayor se aconseja una balsa de infiltración (BI).
- BI: Se puede considerar con una distancia mínima de 1 m entre la base del sistema y el nivel freático.
- BD: Para áreas impermeables de superficie < 3 ha, la sección del conducto de salida puede tener que ser muy pequeña para atenuar los caudales, aumentando el riesgo de su obstrucción. En tales casos, se deberá considerar elementos de control de flujo especiales (p. ej. válvulas de vórtice).
- El diseño en planta podría contar con ondulaciones para generar un aspecto más natural. Se podría dividir la balsa en dos vasos, reservando el primero para la acumulación de sedimentos.
- En general, las pendientes máximas laterales son 3H:1V y la relación longitud/ancho está entre 3:1 y 5:1.
- El pretratamiento puede ser necesario para aumentar el rendimiento de eliminación de sedimentos gruesos y sus contaminantes asociados, lo que disminuiría los requisitos de mantenimiento e incrementaría la vida útil de la balsa.
- Las entradas a las balsas deben estar protegidas de la erosión mediante disipadores de energía (p. ej. con gravas). En la BD la zona de salida también debería estar protegida.
- BI: La base de la balsa debe ser lo más horizontal posible para asegurar que la escorrentía se distribuye uniformemente (tolerancia de la base: 10 mm en 3 m).
- BD: La base de la balsa debería contar con una ligera inclinación (no mayor al 1%) hacia el conducto salida, para maximizar el contacto entre la escorrentía y la vegetación, pero prevenir el estancamiento de agua.
- BD: La ubicación de la entrada y salida del agua deben ser emplazadas de modo que se maximice la estancia del agua, pues los beneficios de calidad del agua aumentan conforme el tiempo de residencia en la balsa aumenta.
- BD: El conducto de salida debe tener una rejilla para retener sólidos gruesos y evitar su obturación.
- BD: El mínimo espesor de lámina de agua a detener suele ser de 0,20 m.
- Requiere de una estructura de alivio para evacuar controladamente el exceso de escorrentía una vez se alcance la altura de almacenamiento de diseño.
- Las fluctuaciones de la lámina de agua deben ser evaluadas y controladas para no afectar al funcionamiento de los elementos colindantes. Se aconseja un resguardo sobre la lámina de agua superficial de 0,30 m.
- Es necesario proveer de un acceso adecuado para las labores de mantenimiento.
- La vegetación seleccionada debería adaptarse a las condiciones del lugar, siendo preferibles las especies autóctonas. Es aconsejable que la vegetación sea densa para impedir la erosión y el lavado de la base de la balsa y minimizar el riesgo de colmatación e impermeabilización en el caso de las BI.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Retirar basura y sedimentos.	Mensualmente
Cortar la vegetación y retirar las malas hiervas.	Mensualmente
Inspeccionar los elementos de entrada y salida y el aliviadero en búsqueda de obstrucciones y, en su caso, limpieza.	Mensualmente
Inspeccionar la entrada y la base en búsqueda de acumulación de sedimentos y, en su caso, retirarlos.	Anualmente
Inspeccionar taludes y, en su caso, reparar zonas erosionadas. Verifican que no se están produciendo asentamientos y, de ser necesario, tomar medidas correctivas.	Anualmente
Inspeccionar la balsa de infiltración en búsqueda de charcos que evidencien zonas colmatadas.	Anualmente
Revegetar los taludes, reparar el elemento de disipación (p. ej. colocar más gravas) y reparar los elementos adicionales (como mobiliario urbano, vallas, etc.).	Cuando sea necesario
Nivelar la base de la balsa y reinstalar los niveles establecidos en el diseño.	Cuando sea necesario

EJEMPLOS



Balsa de detención en Gladsaxe (Dinamarca). Fuente: Ayto. Gladsaxe.



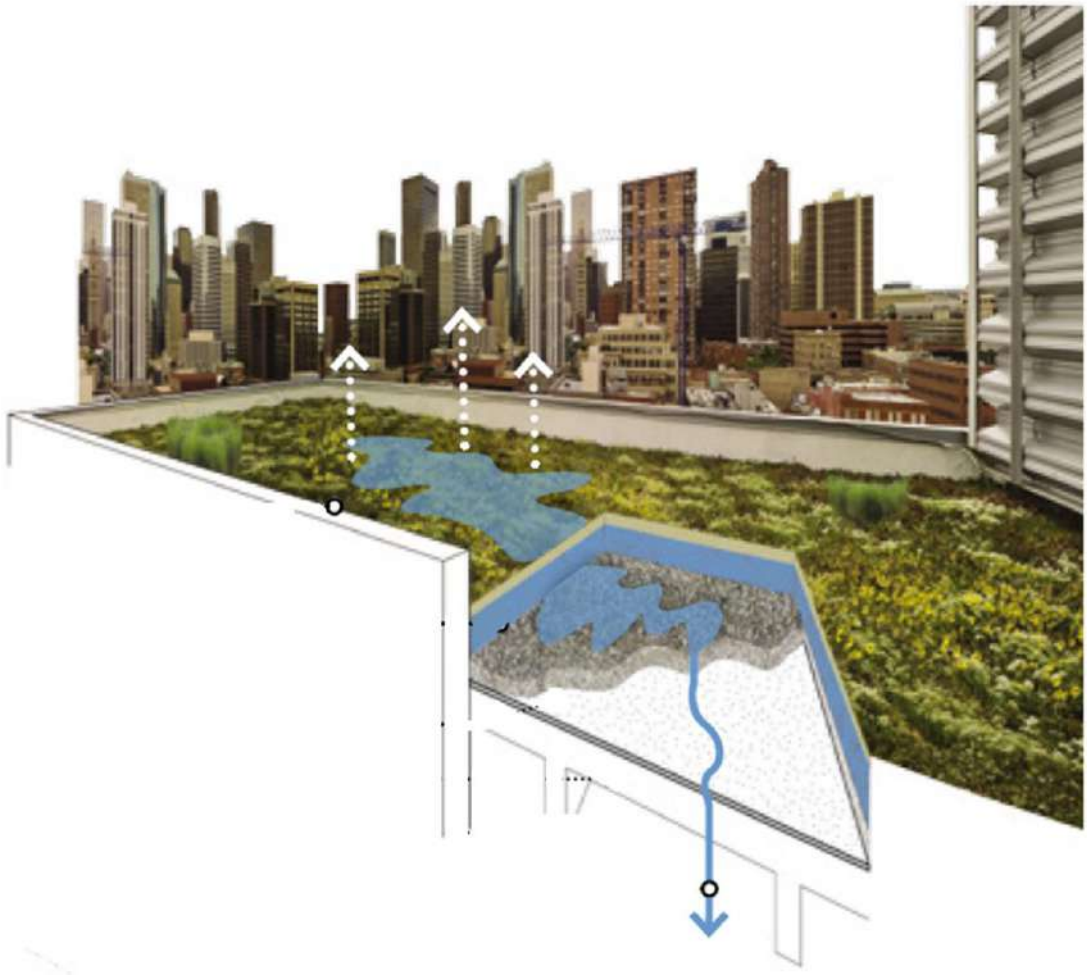
Balsa de detención en Philadelphia. Fuente: Philadelphia Water Department.



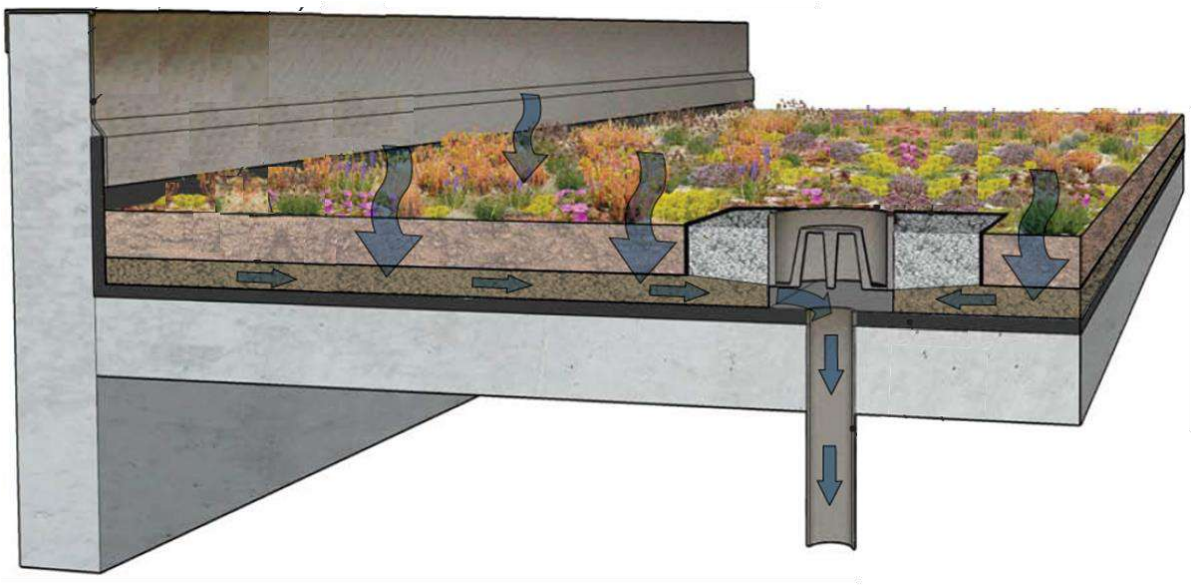
Balsa de infiltración en el aeropuerto de Middleton (USA). Fuente: USGS.



Balsa de infiltración en Can Cortada, Barcelona. Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU).



Fuente: University of Arkansas Community Design Center (2010).



Fuente: Clean Water Services (2016).

CUBIERTAS VEGETADAS

DESCRIPCIÓN

Están compuestas por un paquete vegetado que se instala, parcial o totalmente, sobre la superficie del tejado. El paquete, generalmente, está compuesto por: **vegetación** desarrollada sobre un **sustrato**, una lámina de **geotextil** filtrante, el **sistema de drenaje** (suele ser una estructura con huecos cóncavos), una **barrera antirraíces** y una **membrana impermeable**. Es la primera superficie que capta el agua de lluvia en la edificación. La escorrentía se filtra por la vegetación, es retenida por el sustrato y almacenada temporalmente en el sistema de drenaje (sirviendo de riego pasivo); y descarga a través de las bajantes.

Las cubiertas vegetadas se clasifican en:

- **Cubiertas vegetadas extensivas**: son un tapiz vegetal con un sustrato de bajo espesor (entre 3 y 20 cm), por lo que no aportan cargas elevadas al edificio. Habitualmente no son transitables y ocupan la mayor parte de la cubierta. Disponen de vegetación sencilla (plantas tipo sédum) y sus labores de mantenimiento son bajas (excepto si existe césped).
- **Cubiertas vegetadas intensivas**: tienen un sustrato de espesor superior, generalmente, a los 20 cm; por lo que aporta mayores cargas al edificio que las cubiertas extensivas. Se diseñan, generalmente, para albergar espacios verdes dentro de la ciudad y, por este motivo, suelen ser transitables. La vegetación es variada, desde especies herbáceas hasta arbustos o incluso árboles, de modo que precisan mayores labores de mantenimiento.

FUNCIÓN

Principal: Retención

Secundaria: Detención

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	★★★
Control del volumen de escorrentía	★★★
Control de la calidad del agua	★★★
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	★★★
Aprovechamiento del agua	★★★

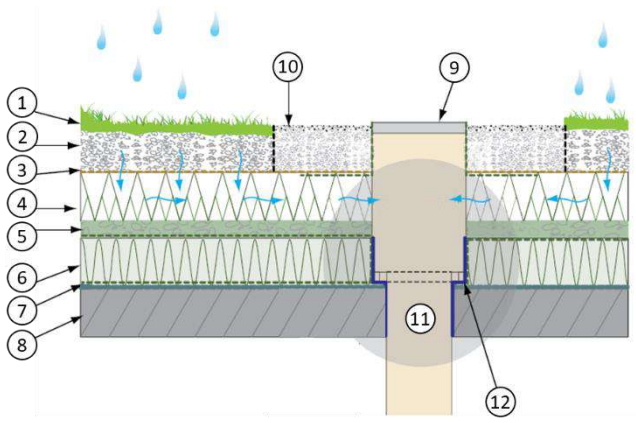
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Sí
Industrial	Quizás
Parques y jardines	-
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,4
Metales	0,4
Hidrocarburos	0,4

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Vegetación
2. Sustrato de 3-20 cm para cubiertas extensivas y de > 20 cm para intensivas
3. Lámina geotextil filtrante
4. Sistema de drenaje y retención temporal de agua
5. Barrera antirraíces
6. Aislante térmico
7. Membrana impermeable para prevenir que la escorrentía dañe el tejado
8. Estructura del edificio
9. Sumidero con filtro de hojas
10. Grava de aprox. 30 cm de ancho para retener sedimentos y reducir el riesgo de bloqueo del sumidero
11. Bajante
12. Protección de la bajante

Fuente: Adaptado de NHBC Foundation (2010).

BENEFICIOS

- ☑ **Reduce el volumen de escorrentía y la carga de contaminantes** sin consumir terreno de valor.
- ☑ Proporciona sombra a la cubierta y la vegetación refleja la radiación. Además, el aire encerrado en el sustrato y entre las plantas actúa como **aislamiento térmico** del edificio, por lo que se reduce la transmisión de calor al edificio y, con ello, la demanda energética por climatización.
- ☑ El proceso de evapotranspiración de la vegetación reduce la temperatura del aire, reduciendo el **efecto urbano isla de calor**.
- ☑ Mejora la **calidad del aire** absorbiendo CO_2, algunos contaminantes en el aire y el polvo.
- ☑ Ofrece un espacio verde urbano visitable y de recreo; y un **hábitat** para aves e insectos.

LIMITACIONES

- ☒ Efectivas en eventos de lluvia cortos o en estados iniciales del evento. Únicamente gestionan el área de la cubierta, por lo que consumen casi todo el espacio del tejado.
- ☒ Puede requerir riegos puntuales para establecer una vegetación constante y duradera.
- ☒ El incremento de carga supone que, en edificios existentes y en naves industriales, quizás sea necesario reforzar su estructura.
- ☒ En cubiertas con inclinación superior al 25 % no son aconsejables. Al aumentar la pendiente: la capacidad de almacenamiento se reduce; la escorrentía se drena rápidamente; y surge el riesgo de pérdida del sustrato por deslizamiento.

CRITERIOS DE DISEÑO

- Para su implantación se deben evaluar: patrones de lluvia, inclinación de la cubierta, capas del sistema, altura del edificio, exposición al viento, orientación del tejado y las sombras de los edificios colindantes, sostenibilidad de la vegetación, vistas al y desde el tejado, hábitats existentes y los objetivos locales de biodiversidad.
- Habitualmente, el 50-80 % del tejado se dedica a la cubierta vegetada, el resto se utiliza para instalaciones (p. ej. aire acondicionado) y el acceso a la cubierta (tanto para la instalación como para su mantenimiento).
- La cubierta se considera completamente saturada en el dimensionamiento del soporte estructural del edificio.
- La lluvia cae directamente sobre la cubierta, por lo que no necesita pretratamiento ni elementos de entrada.
- Cuando se sature la cubierta, la salida se realiza con un sumidero y una bajante. Debe ser diseñada para minimizar el riesgo de bloqueo (p. ej. con reja para retirar hojas y/o incluir gravas en la zona de salida); emplazarse en un sitio fácilmente accesible para las labores de mantenimiento; y captar tanto la escorrentía de la capa de drenaje cuando esté saturada, como de la superficie.
- Para cubiertas planas de hasta un 5 % de pendiente se recomienda el uso de un sistema de drenaje que evite el encharcamiento de las raíces. En inclinaciones superiores al 25 % se deben incorporar elementos auxiliares que eviten la pérdida del sustrato por deslizamiento.
- El sustrato debe ser permeable; no muy pesado cuando esté saturado (se recomienda que el 25 - 75 % del material sea de mayor granulometría que el propio sustrato, como la piedra pómez, la arcilla expandida o la lava); el contenido en arcillas y limos sea menor al 20 %; y asegurar una mejor oxigenación de las raíces. No debe añadir contaminantes a la escorrentía que percola, como ocurre en los tejados convencionales (p. ej. cobre); de modo que, el riesgo de contaminación dependerá únicamente de la contaminación atmosférica.
- La vegetación seleccionada debe ser: resistente a periodos húmedos y secos, requiriendo pocos o ningún riego tras su implantación; autosuficientes, sin necesidad de fertilizantes, pesticidas o herbicidas; capaces de resistir tanto el frio como el calor; bajo mantenimiento, necesitando poco o ningún recorte o poda); y, preferiblemente, especies perennes.
- Se recomienda que la vegetación cubra, al menos, el 80 % de la cubierta vegetada dentro de los 2 años siguientes a su instalación.
- El sistema de riego es opcional, pero ayuda al mantenimiento de la vegetación en periodos de sequía.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Inspección de todos los componentes, en busca de zonas erosionadas, charcos, daños estructurales, goteras, fuentes de generación de sedimentos, etc. y, si es necesaria, su reparación	Anualmente
Retirada de sedimentos, hojas y elementos que pudieran obstruir los sumideros	Anualmente
Riego, especialmente durante el periodo de establecimiento (1-2 años)	Según necesidades
Sustitución de plantas muertas, valorando la conveniencia del cambio de especie para adaptarse mejor a las condiciones locales (cuando cubra > 5 %)	Anualmente (en otoño)
Eliminación de la vegetación invasora y las hierbas no deseadas	Semestral
Mantenimiento propio de la vegetación y recogida de los desechos generados (ramas, recortes, etc.)	Según necesidades

EJEMPLOS



Vivienda en Big Sur (California). Fuente: Studio Schicketanz.



Paseo marítimo en Southampton, (Inglaterra). Fuente: Livingroofs.org.

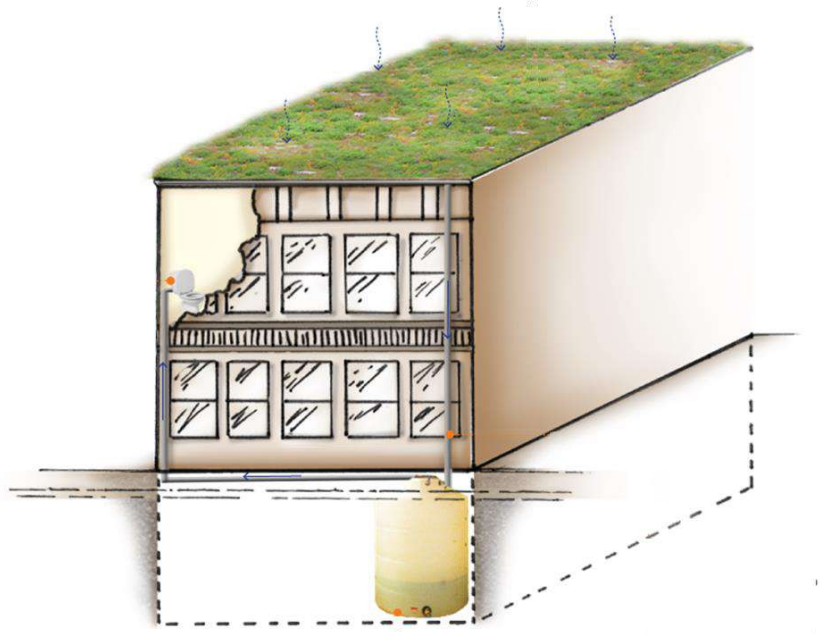


Estación de tren BVB Wiesenplatz, Basel (Suiza). Fuente: Baader Architekten.



Centro Social de Benaguasil (Valencia). Fuente: Green Blue Management.





Autor: Philadelphia Water Department (2018).



Fuente: North Carolina State University (2008).



Fuente: University of Arkansas Community Design Center (2010).

ALJIBES

DESCRIPCIÓN

Los aljibes son estructuras que captan la escorrentía (principalmente de cubiertas, pero puede ser de otras áreas impermeables) para su **posterior aprovechamiento**. El agua es almacenada, tratada (si se requiere) y utilizada en usos de agua no potable (como puede ser el riego). Está compuesto de cuatro componentes principalmente: un sistema de canaletas que recogen el agua del tejado y/o el terreno y la dirigen hacia el aljibe; un aljibe que almacena el agua; una tubería de desagüe que permite que la salida de la escorrentía excedente; y una tubería de salida hacia su posterior uso.

Pueden ser **prefabricados de polietileno** (ligeros y fácilmente transportables, sencillos de instalar, en servicio y mantenimiento) o **construido *in situ* de hormigón** (adecuados para grandes volúmenes y se pueden emplazar en áreas con tráfico, pues pueden ser diseñados como estructuras portantes).

En función de su localización, los aljibes se pueden dividir en:

- **Aljibe al aire libre**: es un sistema que se instala a ras de suelo y funciona por gravedad. El soporte estructural del aljibe puede ser el propio edificio (previo análisis estructural). Requiere de inhibidores de rayos UV.
- **Aljibe enterrado**: se emplaza bajo tierra y se aconseja donde hay restricciones de espacio. Para extraer el agua, suele ser necesario un sistema de bombeo. Tienden a mejorar su rendimiento, pues controlan la temperatura del agua, reducen el crecimiento bacteriano en verano y las heladas en invierno.

FUNCIÓN

Principal: Retención

Secundaria: Detención

CARACTERÍSTICAS

Control del caudal pico	☆★★
Control del volumen de escorrentía	☆☆★
Control de la calidad del agua	★★★
Beneficios para la biodiversidad	★★★
Multifuncionalidad de la actuación	★★★
Aprovechamiento del agua	☆☆☆

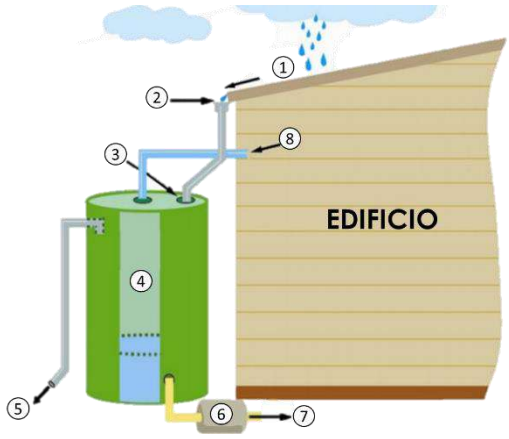
LOCALIZACIÓN

Residencial	Sí
Comercial	Sí
Alta densidad	Sí
Industrial	Sí
Parques y jardines	Sí
Edificios públicos	Sí

ÍNDICE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	N/A
Metales	N/A
Hidrocarburos	N/A

ESQUEMA CONCEPTUAL



1. Generación de escorrentía en la cubierta
2. Recogida del agua de lluvia con canaletas y bajantes
3. Rejilla/filtro para evitar la entrada de hojas, sedimentos y mosquitos
4. Aljibe al aire libre
5. Rebose dirigido hacia una zona vegetada.
6. En caso de ser necesario, bomba de agua y sistema de filtrado
7. Transporte hasta el punto de aprovechamiento
8. Segundo suministro de agua opcional

Fuente: Adaptado de North Carolina State University (NCSU-BAE).

BENEFICIOS

- ☑ El agua puede aprovecharse en usos no potables, lo que supone un ahorro en el consumo de agua potable y, consecuentemente, reducciones en la factura del agua. Así, aprovechan el agua pluvial para generar más recursos hídricos disponibles en entornos urbanos.
- ☑ Son adecuados en escenarios donde otras técnicas SUDS están limitadas; pues son adecuados en lugares donde la infiltración no es aconsejable y en proyectos de rehabilitación.
- ☑ No consumen mucho espacio, por lo que se pueden emplear en edificaciones de alta densidad.
- ☑ Proporciona créditos en las certificaciones de sostenibilidad de 'edificios verdes'.

LIMITACIONES

- ☒ Control de la calidad del agua limitado.
- ☒ Cuando el volumen de almacenamiento sea reducido, no disminuirá el volumen de escorrentía de forma significativa.
- ☒ Si el control del caudal pico es importante, considerar almacenamiento adicional al de retención.
- ☒ Puede ser necesario un sistema de bombeo (considerar uso de bombas solares).
- ☒ La escorrentía almacenada debe ser aprovechada regularmente para mantener la capacidad del sistema.
- ☒ Para garantizar la demanda, es necesario considerar una fuente de agua alternativa.

CRITERIOS DE DISEÑO

- El dimensionamiento es función de la demanda de agua no potable, el área drenante, las características locales y estacionales de lluvia, y el espacio disponible. Se recomienda realizar un análisis mensual.
- Hay dos aspectos a considerar en relación al diseño del tratamiento: la contribución del sistema en el control de calidad de la escorrentía generada en origen (p. ej., los contaminantes presentes en el lavado de la cubierta), y el tratamiento adecuado del agua almacenada para su posterior uso.
- Cuando el aljibe recoge la escorrentía de la cubierta, su ubicación está determinada por la posición de las tuberías bajantes. Generalmente, lo más sencillo y lo más económicamente efectivo es emplazar el depósito cerca de las bajantes existentes.
- Se aconseja instalar el depósito es zonas de sombra para mantener fresca el agua, reducir su evaporación y prolongar la vida útil del material del aljibe. Cuando sea posible, localizar el depósito cerca del lugar donde se aprovechará el agua, así como tener en cuentas las consideraciones estructurales oportunas.
- Se necesita facilitar de forma segura el acceso al aljibe y todos sus componentes para facilitar las labores de mantenimiento. No tiene restricciones de localización respecto a la pendiente máxima del terreno, aunque la instalación del sistema en un lugar elevado puede reducir o eliminar los requisitos de bombeo.
- Todos los aljibes deben ser opacos o estar protegidos de la luz solar para evitar el crecimiento de algas. También es necesario protegerlos de los efectos corrosivos del agua almacenada.
- Es necesaria una rejilla/filtro en la entrada y salida al sistema para evitar la entrada de hojas, sedimentos y mosquitos.
- Los aljibes necesitan un bypass para cuando estén llenos y se aconseja dirigir ese desagüe hacia áreas vegetadas, evitando en lo posible su conexión a la red de alcantarillado.
- Aljibe enterrado**:** Si se encuentra cerca de un edificio, se deben tomar las consideraciones estructurales oportunas. En ocasiones, es necesario tomar medidas de anclaje para evitar que la subida del nivel freático levante el aljibe. También se necesita proteger el aljibe ante un posible retorno de las aguas, pues pueden haber sido contaminadas.

MANTENIMIENTO

Tareas	Frecuencia
Limpieza o recambio de filtros si presentan agujeros o daños.	Trimestral
Inspección en búsqueda de elementos que obstruyan/colmaten los elementos de entrada y salida, el rebose, la bomba y los filtros y, en su caso, reparación.	Anual
Limpieza del interior del aljibe, las entradas y salidas, canaletas y tuberías de sedimentos y otros residuos.	Anual
Inspección del interior del aljibe en búsqueda de fugas y, en su caso, reparación.	Anual
Revisar de crecimiento de algas y, en caso de existir, tratar el agua hasta su eliminación y evaluar su opacidad.	Anual
Revisar el sistema de bombeo y, en caso de no funcionar correctamente, reparación.	Anual
Evaluación de la integridad estructural del aljibe y reparar cualquier daño.	Anual
Tras un evento de rebose del aljibe, ver si hay daños por erosión al aljibe o al sistema de bombeo, y reparar en su caso.	Cuando se requiera

EJEMPLOS



Colegio Público Gozalbes Vera, Xàtiva (Valencia). Fuente: Green Blue Management.



Zona residencial en Austin (Texas). Fuente: Austin Water.



Aljibe en Cincinnati (USA). Fuente: Green Blue Management.



Aljibe semienterrado en el Centro Social de Benaguasil (Valencia). Fuente: Green Blue Management.



Propuesta y debate de soluciones. Fuente: Proyecto CoSuDS.

5. PROCESO DE DISEÑO

En el siguiente apartado se describen las principales pautas a tener en cuenta para diseñar un sistema de drenaje sostenible.

5.1 Ámbito de aplicación

Los casos donde podrá requerirse los criterios establecidos en esta Guía son:

1. **Todas las actuaciones de urbanización**, incluidos los proyectos de urbanización de ámbitos de planeamiento, en los proyectos de obra de urbanización de espacios libres públicos y los proyectos de edificación que incluyan el tratamiento de espacios libres de parcela.

2. **Nuevas edificaciones en zonas urbanizadas.** Incluyen las nuevas edificaciones en parcelas de polígonos industriales, de cualquier uso, y/o, viviendas, o edificaciones convencionales, en zonas urbanizadas.

5.2 Características del lugar

Los SUDS son una estrategia que complementa y, en algunos casos, sustituye, al sistema de drenaje convencional. Por este motivo, se pueden implementar para gestionar el agua de lluvia de cualquier lugar, ya sea un desarrollo urbano de nueva planta o una actuación de regeneración urbana. No obstante, es necesario analizar las **condiciones del lugar** y, en especial, sus **restricciones** para **seleccionar la técnica que mejor se adapta y mayores beneficios aporta al proyecto**.

El análisis del terreno consiste, básicamente, en un **inventario** (Figura 12) de todos los factores que condicionan el lugar y sus áreas adyacentes, como son: topografía, hidrogeología y geotecnia, hidrología, vegetación, entre otros. Para su correcta identificación, es de gran utilidad realizar visitas de campo, revisar los mapas y documentos existentes, solicitar información a diferentes entidades competentes, etc.

Si desde las etapas iniciales del planeamiento se conocen los atributos físicos preexistentes del lugar, es más sencillo conseguir optimizar la gestión del agua de lluvia y garantizar la protección del medio. De este modo sería posible reproducir (en mayor medida) los patrones de drenaje natural, y dedicar el espacio necesario a los SUDS. Con ello, por ejemplo, el trazado de las calles podría acompañar al de las escorrentías principales, el porcentaje de áreas permeables podrían aumentarse, o podría haber zonas dedicadas exclusivamente a laminación.



Figura 12. Análisis del lugar. Fuente: Adaptado de Washington State University Extention Factulty (2012).

Para facilitar la recolección de información relevante en el proceso de diseño de SUDS, se aconseja analizar los siguientes aspectos. El formato que se propone en esta Guía es que el usuario de la misma responda, al menos, a las preguntas planteadas en cada factor.

5.2.1 Topografía

- ***¿La información topográfica en estado natural (antes de la actuación) permite entender los patrones naturales de drenaje?***
- ***¿Existen puntos bajos en el estado natural (antes de la actuación)? ¿Y en la actuación?***
- ***¿Cómo es la orografía del terreno? ¿Muy llana o con pendientes elevadas?***
- ***¿Es posible identificar las cuencas drenantes con la topografía disponible tras la actuación?***

En primer lugar, es necesario realizar un estudio de la topografía del ámbito en estado natural (antes de la actuación) que permita la identificación de los **patrones naturales de drenaje**. Realizar este paso en las fases iniciales facilita reproducir, en la medida de lo posible, los patrones de drenaje y el diseño del sistema de drenaje por gravedad.

Un punto de partida para el estudio de la topografía en estado natural pueden ser los Modelos Digitales del Terreno (MDT), descargables en el Centro Nacional de Información Geográfica (Link) y en el Institut Cartogràfic Valencià (Link).

En esta parte cobra especial atención los **puntos bajos** y la **pendiente del terreno**.

Los puntos bajos pueden ser una buena localización para las áreas de infiltración, ya que podrían recoger por gravedad la escorrentía (en balsas de infiltración, por ejemplo) y la devolverían al subsuelo. No obstante, si la infiltración no puede considerarse, habría que evaluar la viabilidad de evacuar la escorrentía de dicha zona para no generar problemas de inundación locales.

Si el terreno es muy llano, podrían surgir problemas para mover la escorrentía por gravedad. En este caso, no es aconsejable el transporte de la escorrentía con elementos enterrados, ya que supondría que el punto de salida quedase muy bajo, tanto para su conexión al medio receptor como a un posible dispositivo SUDS, que podría tener que estar muy profundo, siendo más difícil su integración con el entorno. Lo más conveniente sería mantener la escorrentía en superficie y gestionarla en origen de manera diseminada. En cualquier caso, el técnico competente debería considerar todas las alternativas viables antes de emplear el bombeo del agua de lluvia.

Si, por el contrario, la pendiente del terreno fuera muy elevada, es más probable que surjan problemas de erosión o sean más probables los deslizamientos del terreno. Esto supondría un aumento de la velocidad de la escorrentía, por lo que habría que evaluar cómo entraría la escorrentía al SUDS y si fueran necesarios elementos de disipación de energía. Podría considerarse incluir barreras transversales, como pequeñas represas, que permitirían el almacenamiento por escalones, reduciendo también la velocidad de la escorrentía y contribuyendo a la mejorar del paisaje. Por último, no es aconsejable considerar la infiltración con fuertes pendientes (mayores del 25 %) al introducir riesgos de inestabilidad del terreno.

Paralelamente, es necesario conocer la topografía tras la actuación, de modo que se identifiquen las cuencas drenantes para la fase de cálculo.

5.2.2 Hidrología

El primer paso es conocer y entender cómo se mueve el agua de lluvia en el lugar de estudio, así como sus zonas colindantes. Basándose en el análisis de la topografía del apartado 5.2.1, se realizará un análisis hidromorfométrico cuyo principal resultado será la definición de las **cuencas drenantes**. De este modo se puede estudiar cómo pueden preservarse las funciones hidrológicas naturales existentes y, en la medida de lo posible, no alterar las condiciones naturales antes de la actuación.

Si en las inmediaciones del ámbito de estudio existe un **cauce/arroyo** al que poder verter la escorrentía del SUDS, se debe recoger toda la información necesaria para poder justificar el vertido en condiciones seguras al mismo.

- ***¿Cuáles son los patrones de drenaje natural en el ámbito de estudio y sus zonas adyacentes? Identificar las cuencas drenantes del ámbito de estudio (área total y la longitud y pendiente del cauce principal) y evaluar si hay cuencas drenantes externas de las zonas colindantes que, en su caso, también tuvieran que gestionarse.***
- ***¿Es posible identificar algún punto de vertido cercano a cauce/arroyo?***
- ***¿Existe algún requisito en calidad del agua para el vertido de la escorrentía?***
- ***¿Existe algún medio receptor sensible o que tenga alguna restricción?***
- ***¿Existen zonas inundables en la zona de actuación?***

Para identificar si el proyecto se encuadra dentro de una zona inundable, se aconseja consultar el visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, SNCZI (Link). En la Figura 13 se muestra, a modo de ejemplo de los recursos ofrecidos por el SNCZ, el mapa de peligrosidad por inundación fluvial para T = 10 años. En caso de emplazarse en esta área, durante los eventos de lluvia estas zonas podrían quedar naturalmente inundadas por el cauce y no serían efectivas para el almacenamiento de agua de lluvia. Sin embargo, esto no debe impedir la consideración del SUDS, ya que aún podrían ser efectivos en la gestión de los eventos de lluvia habituales. Dado que es posible que el nivel de la capa freática esté alto y dada la vulnerabilidad a la erosión, se debe seleccionar y diseñar el SUDS teniendo esto factores en consideración.

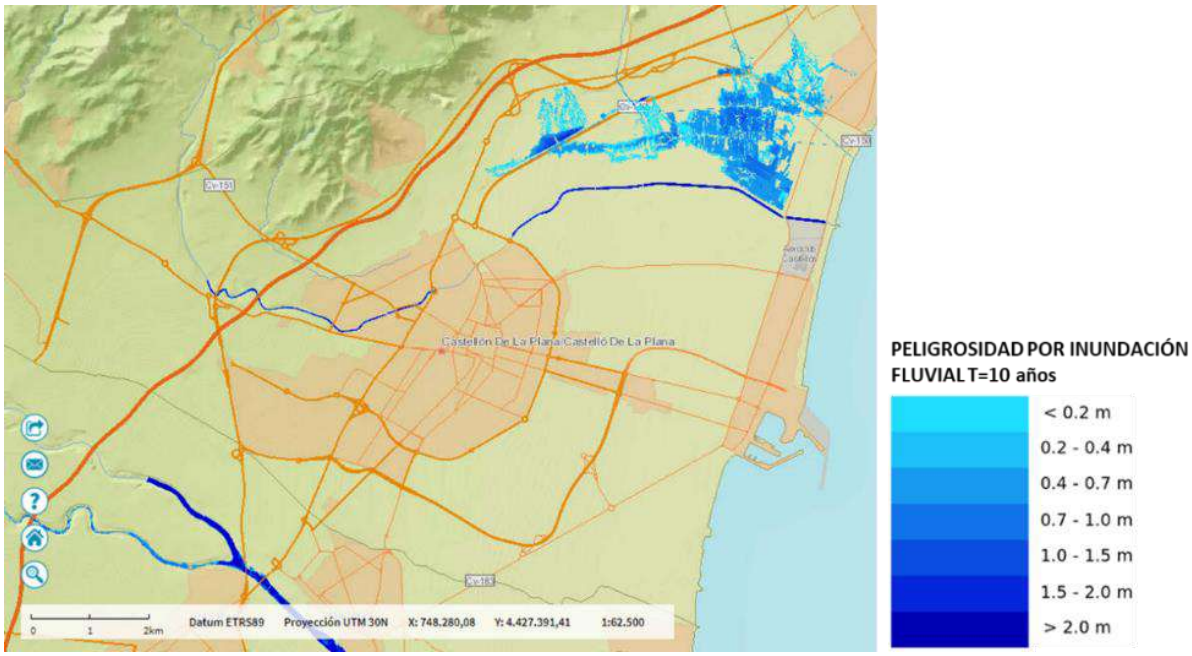


Figura 13. Mapa de peligrosidad por inundación fluvial T = 10 años. Fuente: SNCZI.

5.2.3 Hidrogeología y geotecnia

La principal conclusión que se ha de extraer de esta fase es si las características del terreno permiten la posibilidad de contar, en condiciones de seguridad, con la **infiltración** en el diseño. Si el terreno fuera poco permeable, existiría una restricción clave en el diseño del sistema SUDS y es conveniente que sea identificado en las primeras fases de diseño. Por este motivo, es fundamental dar respuesta a las preguntas planteadas.

- ***¿Existen estudios geológicos e/o hidrogeológicos en el ámbito de estudio? Consúltelos.***
- ***¿Qué materiales existen en el ámbito de estudio y sus inmediaciones? Si fuera posible, identificar el espesor de cada material (columna estratigráfica).***
- ***¿Se han identificado estratos con materiales limitantes, como arcillas expansivas, yeso o roca?***
- ***¿Existen ensayos de permeabilidad del terreno?***
- ***¿Existe una capa más permeable debajo de las capas impermeables poco profundas, donde la infiltración podría ocurrir a una mayor profundidad?***
- ***¿Cuál es la distancia al nivel freático y su variabilidad estacional? ¿Es probable que haya suficiente suelo insaturado por encima del acuífero; o el nivel freático está alto y se restringe la factibilidad de una parte o toda la posible infiltración? ¿Qué ocasiona que el nivel freático sea elevado?***
- ***¿Existen o es probable que existan contaminantes presentes en el suelo que puedan movilizarse durante la infiltración y, por lo tanto, representar un riesgo para el acuífero?***
- ***¿Las condiciones del terreno son tales que las medidas de drenaje con infiltración podrían generar riesgos de inestabilidad, hundimientos o erosión? Y si no es posible contar con infiltración, ¿es probable que existan esos riesgos durante la construcción y operación de los sistemas de drenaje?***

Con la información extraída de esta fase, se podrá justificar la viabilidad o no de la infiltración, dando respuesta a las cuestiones del apartado *5.4.2 Evaluación de la infiltración.*

Para la identificación de los materiales presentes en la zona de estudio, en caso de que no existan estudios geológicos, y como punto de partida, se aconseja consultar los recursos de la web del Instituto Geológico y Minero de España (Link).

Para una primera aproximación del sistema, es admisible asociar al tipo de suelo identificado con los valores de permeabilidad establecidos por la literatura. Para ello, se selecciona de la Tabla 2 una permeabilidad orientativa (k_{orient}) y, quedando del lado de la seguridad, será de aplicación un factor de seguridad (FS) de 10. De forma que, en las fases iniciales, el valor de permeabilidad será de $k_{inicial} = k_{orient} / FS$.

Sin embargo, en fase de proyecto es preciso la realización de **ensayos de permeabilidad en zanja** para la obtención del valor del coeficiente de permeabilidad a utilizar en el diseño de las infraestructuras de infiltración (en su caso).

Tabla 2. Valores orientativos de permeabilidad. Fuente: CTE (2008).

Tipo de suelo	Permeablidad (m/s)
Grava limpia	$> 10^{-2}$
Arena limpia y mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} – 10^{-5}$
Arena fina, limo, mezcla de arenas, limos y arcillas	$10^{-5} – 10^{-9}$
Arcilla	$< 10^{-9}$

Procedimiento del ensayo in situ de permeabilidad en zanja

Se trata de un ensayo *in situ* a realizar en aquellos lugares donde se propone la construcción de una infraestructura de infiltración y está basado en la publicación británica **BRE Digest 365, 'Soakaway Design' Revised 2016**.

El ensayo se realiza en el interior de excavaciones en suelos secos o semisaturados, en los lugares propuestos para la construcción de la estructura de infiltración. El lugar donde se realice el ensayo debe estar adecuadamente preparado.

Las dimensiones de la excavación dependerán de cada situación en particular y deben seleccionarse de modo que reproduzcan adecuadamente las condiciones de la estructura de infiltración. Algunos valores orientativos son un ancho entre 0,30 - 1 m (valor habitual de 0,60 m) y un largo de entre 1 - 3 m (valor habitual de 1,50 m).

La profundidad recomendada es aquella que tenga la base de la estructura de infiltración que se pretende proyectar. No obstante, algunos valores orientativos son: 1 - 1,50 m por debajo del punto de entrada de agua a la infraestructura; o bien, 1,50 - 2,50 m. Un valor típico es 1,50 m, llenando únicamente la zanja hasta 1 m para la realización del ensayo.

Se intentará que las paredes de la excavación sean verticales y formen una zanja rectangular (ver ejemplo en la Figura 14). Se tomarán mediciones exactas de las dimensiones de la excavación antes de proceder a su llenado, siempre desde el exterior de la excavación por razones de seguridad.

Una vez realizada la excavación se procederá a realizar el ensayo, que consistirá en su llenado con agua (hasta 1 m o la altura determinada) y la medición de los tiempos de infiltración hasta su vaciado. El aporte de agua a la excavación debe ser rápido, pero realizado con cuidado de no provocar el colapso de las paredes de la excavación. Los tiempos se contabilizarán a partir del momento de llenado, en intervalos espaciados de manera que permitan definir la curva de niveles de agua frente a tiempo (más cortos al principio, con al menos una toma de tiempo por cada descenso de 5 cm, y más largos si el vaciado tarda más de 30 min). A ser posible, además de las mediciones tomadas en los intervalos de tiempo establecidos, se tomarán los tiempos correspondientes a las cotas de agua de 75% y 25% de la altura de agua inicial (h_0).



Figura 14. Ensayo de permeabilidad en zanja en Villanueva de Gállego (Zaragoza).
Fuente: Green Blue Management.

El ensayo se realizará tres veces, preferentemente en el mismo día (o en días consecutivos de no ser posible lo anterior). Como resultado del ensayo, para quedar del lado de la seguridad, se tomará el menor valor de los 3 obtenidos.

En caso de que llueva durante la ejecución del ensayo, ha de quedar registro en el informe del ensayo, y se anotará el momento en que la zanja se vacía tras la lluvia. Una vez esto ocurra, se repetirá el

ensayo. Si durante el trascurso del ensayo se produjese alguna anomalía en el terreno adyacente al ensayo, también se ha de dejar constancia en las anotaciones de campo.

A partir de estos datos, el valor del coeficiente de infiltración se obtiene con la siguiente fórmula:

$$k = \frac{V_{P75-25}}{a_{P50} * t_{P75-25}}$$

donde:

k = coeficiente de infiltración (m/s);

V_{P75-25} = volumen de almacenamiento entre el 75 % y el 25 % de la profundidad de la excavación que se llena de agua, siendo el 100% el volumen de agua inicial (m³);

a_{P50} = superficie mojada al 50 % de la profundidad de la excavación que se llena de agua, incluyendo el área de la base (m²);

t_{P75-25} = tiempo de vaciado entre el 75 % al 25 % de la profundidad de la excavación que se llena de agua (s).

En principio, se tomará el valor de permeabilidad más bajo de los obtenidos en todos los ensayos realizados, aunque podría justificarse no hacerlo así por motivos particulares. Adicionalmente, para quedar del lado de la seguridad, se ha de afectar el valor de permeabilidad obtenido en campo *k* con un **factor de seguridad** de, al menos, FS = 1,5. Por lo tanto, el diseño de la estructura de infiltración en cuestión, se realizarán con la permeabilidad de cálculo *kc* = *k* /FS.

5.2.4 Pluviometría

Este apartado es de aplicación salvo que se justifique que se cuenta con un estudio pluviométrico propio con datos más actualizados u oportunos para el diseño del sistema de drenaje con SUDS, tras la correspondiente aprobación de los órganos competentes. De modo que, en caso de no contar con tal estudio, se podrán utilizar para el dimensionamiento de los SUDS los valores a continuación presentados.

Los órganos competentes podrán solicitar, si así lo consideran necesario, la modificación de los datos pluviométricos para adaptar el diseño al cambio climático.

Para el ámbito de aplicación de esta Guía se ha realizado un estudio pluviométrico con los datos registrados por la estación Castellón-Almassora (código 8500A de la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET) desde el año 1976 hasta 2018.

En el dimensionamiento de los SUDS se utilizan las reglas de diseño basadas en percentiles de la serie de precipitaciones. De este modo, en función del criterio de diseño (gestión de caudales y volúmenes, gestión de calidad, obtención de certificaciones como LEED o BREEAM) se emplea un volumen de precipitación de un percentil u otro, siendo los más comunes 80, 85, 90 y 95. Estos percentiles representan el valor de precipitación de lluvia tal que el 80 %, 85 %, 90 % y 95 % de los eventos anuales tiene una precipitación menor o igual a ese valor (V_{80}, V_{85}, V_{90} y V_{95}). Para esta Guía, se han calculado

los volúmenes asociados a diferentes percentiles con los datos de precipitación diarios registrados, sin contabilizar los días en la que la precipitación total diaria fue menor de 1 mm; obteniendo los volúmenes mostrados en Tabla 3.

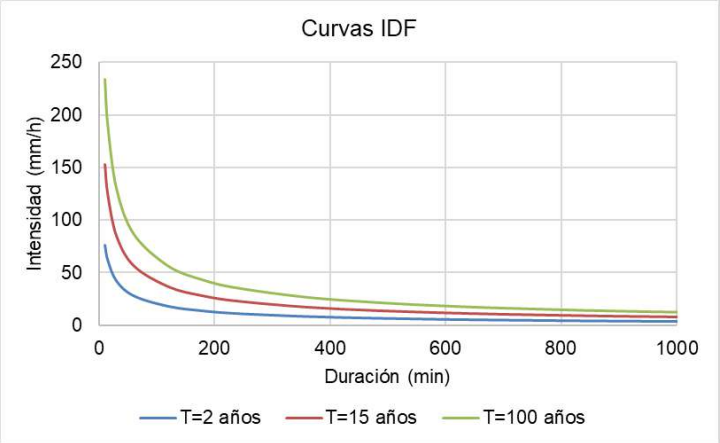
Tabla 3.Volúmenes de precipitación según percentiles de lluvia.

Percentil (%)	Volumen (mm)
50	5
80	14
85	17
90	24
95	36
98	57
99	74

A partir de la serie de precipitación máxima diaria en cada año, se ha procedido a ajustar una función de distribución de extremos, con objeto de obtener la precipitación máxima diaria para diferentes períodos de retorno (T). Empleando la expresión propuesta por Témez Peláez (1987) y los factores de torrencialidad del mapa de isolíneas de la *Norma 5.2 - IC Instrucción de Drenaje Superficial*, se han calculado las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de la Tabla 4.

Tabla 4. Curvas IDF.

Intensidad (mm/h)	T (años)		
Duración (min)	2	15	100
10	76,1	152,6	234,1
15	61,7	123,7	189,8
30	42,2	84,7	129,9
60	28,1	56,4	86,5
120	18,2	36,5	55,9
180	13,9	27,9	42,7
240	11,4	22,9	35,1
360	8,5	17,1	26,3
480	6,9	13,9	21,3
600	5,8	11,7	18,0
720	5,1	10,2	15,6
960	4,0	8,1	12,4
1.440	2,9	5,8	8,9
2.160	2,1	4,1	6,3
2.880	1,6	3,2	4,9
4.320	1,1	2,2	3,4
5.760	0,8	1,7	2,6
7.200	0,7	1,4	2,1
8.640	0,6	1,1	1,7
10.080	0,5	1,0	1,5



Con las curvas IDF se han determinado las lluvias de diseño. De este modo, para el proceso de diseño y según el nivel de seguridad establecido, se utilizarán las lluvias de diseño unitarias de 2 y 15 años de periodo de retorno de la Tabla 5.

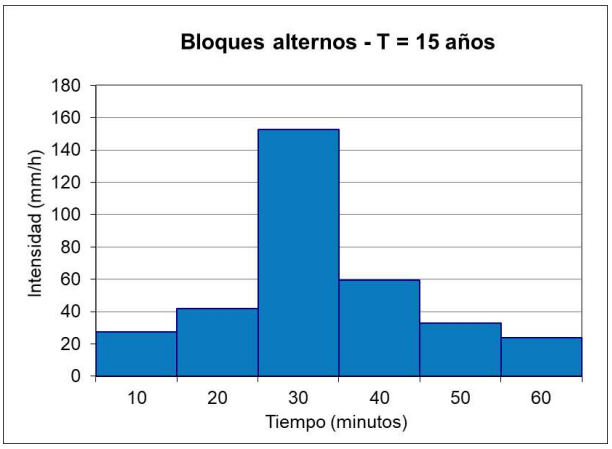
Tabla 5. Lluvias de diseño unitarias.

	T = 2 años		T = 15 años	
Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)
10	76,1	12,7	152,6	25,4
15	61,7	15,4	123,7	30,9
30	42,2	21,1	84,7	42,3
60	28,1	28,1	56,4	56,4
120	18,2	36,4	36,5	72,9
180	13,9	41,7	27,9	83,6
240	11,4	45,6	22,9	91,4
360	8,5	51,2	17,1	102,8
480	6,9	55,3	13,9	110,9
600	5,8	58,4	11,7	117,1
720	5,1	60,8	10,2	122,1

Complementariamente, se empleará la lluvia de diseño por bloques alternos para el periodo de retorno de 15 años de 1 h de duración (con una punta diezminutal de 152,6 mm/h y un valor acumulado de 56,4 mm), recogida en la Tabla 6.

Tabla 6. Lluvia de diseño por bloques alternos de T = 15 años y 1 h de duración para Castellón.

Bloques alternos - T = 15 años		
Duración (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)
10	27,5	4,6
20	41,9	7,0
30	152,6	25,4
40	59,4	9,9
50	33,1	5,5
60	23,7	4,0
	TOTAL	**56,4**



Cuando sea recomendable elaborar un modelo matemático de detalle (para los casos establecidos en el apartado 5.5), se evaluará el funcionamiento del sistema ante lluvias reales a lo largo de un año. A falta de otra indicación, se utilizará la serie histórica del periodo 2012-2014 y/o el 2015, por considerarse un año tipo.

5.2.5 Infraestructuras existentes

Cuando el proyecto se emplace en la ciudad consolidada de Castellón de la Plana, es necesario conocer las infraestructuras existentes en el ámbito de estudio con el fin de no afectarlas.

En particular, es relevante conocer el estado de la red de drenaje municipal, su localización y su capacidad. De este modo, se establecerá la viabilidad de, en su caso, utilizar la red municipal como punto de vertido del sistema con SUDS. El resto de servicios (electricidad, internet, gas, etc.) deben ser igualmente identificados, para poder evitar emplazar SUDS en dichas zonas, o contemplar las precauciones necesarias.

En las actuaciones de nueva planta, es aconsejable considerar franjas dedicadas a los servicios y marcarlas adecuadamente, consiguiendo así que durante su mantenimiento no se afecte o suponga la reconstrucción de la técnica SUDS.

- ***¿Existe red de saneamiento municipal en la zona de actuación? ¿Se trata de una red unitaria o separativa?***
- ***En caso afirmativo, ¿qué capacidad tiene y en qué condiciones de mantenimiento se encuentra? ¿Sería posible considerarla como punto de vertido? ¿Existe alguna restricción de vertido?***
- ***¿Qué servicios discurren por la zona de estudio? Solicitar información a las entidades competentes (abastecimiento, electricidad, red telefónica, gas, etc.) con el objetivo de identificar posibles servicios afectados.***

5.2.6 Vegetación y hábitats

- ***¿Existen árboles o vegetación de gran porte? ¿Es posible mantenerlos tras la actuación?***
- ***¿Cuál es la vegetación autóctona? ¿Se pueden incluir estas especies en la propuesta?***
- ***¿Qué hábitat se desarrolla en el ámbito de estudio? ¿Existen especies que estén en peligro? ¿Se puede incluir estas especies en la propuesta?***

El propio diseño de los SUDS, generalmente, incluye vegetación y agua que pueden contribuir a la biodiversidad y la mejorar del paisaje. Para ello, es preciso conocer las condiciones ecológicas existentes antes de la actuación y su posible potencial. Los SUDS deberían ser diseñados para proteger o mejorar las condiciones del lugar. Para ello, se podrían incluir áreas de conservación natural, áreas para especies protegidas y hábitats locales importantes. En estos casos, debe existir una buena coordinación entre el desarrollo de estos hábitats y el mantenimiento propio de los SUDS.

5.3 Objetivos de diseño

En este apartado se recogen las recomendaciones genéricas a seguir en el diseño de la red de aguas pluviales; si bien, será de aplicación las indicaciones y requerimientos particulares que realice el Ayuntamiento de Castellón y, en su caso, la entidad competente.

Durante la fase de diseño sería aconsejable considerar las siguientes medidas, pues promueven que la **hidrología natural no se altere** tras la actuación; y, con ello, evitar el impacto aguas abajo del ámbito, como podrían ser las inundaciones urbanas por aumento de caudales de escorrentía.

- **Reproducir los patrones de drenaje natural**. De forma que, por ejemplo, las calles sigan los cauces principales de flujo o se mantengan los puntos de vertido naturales adecuadamente protegidos.
- **Minimizar las superficies impermeables**. Pueden ayudar a mitigar los impactos de la actuación al reducir la cantidad de escorrentía generada que ha de ser gestionada en el sistema de drenaje. Se conseguiría, por ejemplo, aumentando la cantidad de superficie con vegetación y árboles, o pavimentando únicamente las zonas que deben ser transitadas, empleando acabados más blandos y permeables en el resto.
- **Desconectar las superficies impermeables.** Consiste en desconectar las canaletas que recogen y conducen el agua de lluvia de las cubiertas hacia el sistema municipal de alcantarillado y, en su lugar, dirigirlas hacia alguna técnica SUDS, como son los parterres inundables.

El objetivo principal del sistema de drenaje sostenible debe ser **gestionar la escorrentía en/desde el origen**, tanto en términos de **cantidad** como de **calidad**; a la vez que se incluyen beneficios enfocados a los **vecinos** del ámbito y se contribuye al desarrollo de la **biodiversidad local**.

Siguiendo lo establecido por la Normativa del Plan de Acción Territorial sobre el Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA), el sistema de drenaje en su conjunto ha de garantizar el **control de inundaciones** para el periodo de retorno de **15 años**.

El objetivo del diseño de SUDS debe ser descargar la escorrentía de aguas superficiales tan alto como sea razonablemente posible en la siguiente jerarquía:

1. Para su aprovechamiento en usos de agua no potable (p. ej. riego);

2. En el suelo a través de la infiltración;

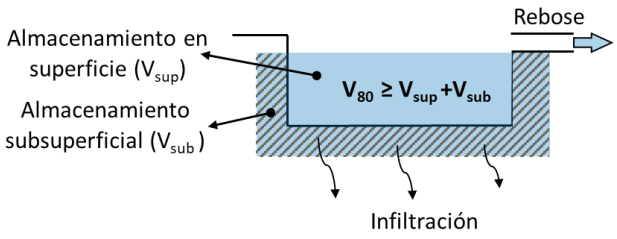
3. A masa de agua más cercana;

4. A la red de aguas pluviales;

5. A red de saneamiento unitaria.

El objetivo del diseño de los SUDS debe ser descargar la escorrentía de aguas superficiales tan alto como sea razonablemente posible en la siguiente jerarquía:

1. Para su **aprovechamiento** en usos que no requieran la calidad del agua no potable, como riego de zonas verdes, la descarga de inodoros/urinarios y/o limpieza de vehículos, entre otros.
2. En el suelo a través de la **infiltración** de, al menos, el volumen correspondiente al percentil 80 (**V_{80} = 14 mm**). De este modo, el SUDS debe almacenar, al menos, el volumen V_{80} en superficie y/o subsuperficialmente (generalmente, en los huecos que dejan las gravas o las estructuras de polietileno) para su posterior infiltración al subsuelo (una vez se haya asegurado la suficiente calidad de la escorrentía), en menos de 48 h. Con ello, se garantiza que el sistema está preparado para tormentas sucesivas.



En principio, al almacenar el V_{80} para su posterior infiltración, empleando las técnicas SUDS adecuadas, se logra alcanzar los requisitos de calidad exigidos; pues se produce la sedimentación de los contaminantes (al almacenar la escorrentía) y posteriormente son filtrados por las diferentes capas que componen el SUDS. No obstante, se debe evaluar el sistema con el Método de los Índices, descrito en el apartado 5.4.3.

En caso de que el usuario de la Guía esté interesado en conseguir alguna certificación de sostenibilidad, como son LEED, BREEAM o Verde, el volumen que es necesario gestionar con el sistema de drenaje sostenible podría aumentar.

En ocasiones particulares, podría darse el caso de que los SUDS sean capaces de almacenar temporalmente y evacuar por infiltración la escorrentía generada por todos los eventos de lluvias de diseño. Cuando no sea el caso, para la gestión de la escorrentía excedente, se seguirá con los siguientes eslabones de esta jerarquía.

3. A **masa de agua más cercana**, pudiendo ser un curso de agua o el propio Mar Mediterráneo.

   Para el vertido al Mar Mediterráneo, los requisitos de aplicación se establecerán para cada caso bajo las indicaciones de la Dirección General de Costas, y en el caso de cursos de agua, se atenderá a lo dispuesto por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

   A modo de recomendación, se establecen los siguientes criterios de diseño:

3.1. Control de la cantidad

El objetivo de diseño es laminar la avenida asociada a T = 15 años sin que varíe el hidrograma del cauce aguas abajo del punto de vertido. Es decir, que no se vea afectado el caudal pico circulante por el cauce donde se vierta, en comparación con la situación preexistente a la actuación a desarrollar. Asimismo, es importante que el régimen de caudales del medio receptor no se vea afectado drásticamente para lluvias frecuentes, para evitar, entre otros, la erosión de los cauces.

En el ámbito de esta Guía, se propone limitar los caudales de escorrentías procedentes de la totalidad de la actuación a un caudal máximo de 70 l/s/ha de superficie total para T = 2 años y 141 l/s/ha de superficie total para T = 15 años, en el municipio de Castelló de la Plana.

3.2. Control de la calidad

El objetivo de diseño es eliminar un porcentaje significativo de la carga total de contaminantes presentes en la escorrentía. El volumen asociado a este estándar de calidad se define en las referencias internacionales como **volumen de calidad**.

Para esta Guía, se ha establecido que se logra el rendimiento de eliminación de contaminantes asociado al volumen de calidad si:

1. Se trata con el sistema de drenaje el volumen correspondiente con la lluvia del percentil del 90 %: **V_{90} = 24 mm**. De este modo los SUDS tratarán las tormentas hasta cierto volumen de precipitación, que suponen las primeras aguas de todos los eventos.

2. Se almacena e infiltra íntegramente en origen, en menos de 48 h, el volumen correspondiente con la lluvia del percentil del 80 %: **V_{80} = 14 mm**. La escorrentía que se infiltre ha de estar adecuadamente tratada.

En ambos casos, se debe diseñar la cadena de técnicas SUDS de forma que se **mitigue el riesgo de contaminación**, siguiendo el Método de los Índices (descrito en el apartado 5.4.3).

4. A la **red de aguas pluviales**.

Teniendo en cuenta que la mayoría de redes de aguas pluviales en sistemas separativos existentes tiene su punto último de conexión a una masa de agua sin un tratamiento previo antes de su descarga, ni elementos de laminación, son de aplicación los criterios de diseño recogidos en el punto *"3. A masa de agua más cercana"*.

Adicionalmente, podría haber algún requisito más restrictivo derivado de la capacidad de la red de aguas pluviales a la que se quiera conectar, que será indicado en su momento por el Ayuntamiento de Castelló de la Plana.

5. A **red de saneamiento**.

En este caso cobra mayor importancia el reducir la aportación de agua de escorrentía a los colectores, para reducir la necesidad de su tratamiento en las estaciones depuradoras, o, en su caso, los volúmenes vertidos al medio receptor sin tratamiento. Es por ello que se intentará aprovechar y/o infiltrar en origen la mayor cantidad de agua de lluvia razonablemente posible. por lo que el cumplimiento del objetivo de diseño es controlar la cantidad de escorrentía vertida a la red de saneamiento, tanto en términos de volumen como de caudal. A la escorrentía excedente, se propone aplicar las siguientes restricciones de caudal:

5.1. Todas las actuaciones de urbanización

Se limitará la admisión de los caudales de escorrentías procedentes de la totalidad de la actuación a un caudal máximo de 141 l/s/ha de superficie total para T = 15 años.

5.2. Nuevas edificaciones en zonas urbanizadas

Se limitará la admisión de los caudales de escorrentías procedentes de la totalidad de la actuación a un caudal máximo de 283 l/s/ha de superficie total para T = 15 años.

5.4 Selección de la técnica SUDS

En el siguiente apartado se evalúan una serie de parámetros orientativos que aconsejan qué tipo de SUDS emplear en función de las condiciones del terreno.

5.4.1 Factores físicos

Los factores físicos determinan, en gran medida, qué técnica SUDS se adapta mejor a las condiciones del lugar y, al mismo tiempo, satisface los requisitos establecidos en el proyecto. A continuación, se resumen los principales factores que han de considerarse en la toma de decisiones:

- La **topografía** del terreno tiene asociada dos aspectos clave que determinan la localización y la configuración de la técnica SUDS; estos son: los puntos bajos y la pendiente del terreno.

  Para que el sistema funcione por gravedad, sería aconsejable que parte de las técnicas SUDS se localizasen en los puntos bajos. No obstante, es necesario evaluar detalladamente la forma de evacuación de este volumen de agua.

  La **pendiente del terreno** condiciona el volumen de almacenamiento útil en el SUDS. Si la pendiente es elevada, sería posible incluir aterrazamientos/represas que aumentasen el volumen disponible. Por ejemplo, se podrían utilizar pavimentos permeables en zonas con elevada pendiente para tratar la escorrentía pero, salvo que se incluyan terrazas en la capa drenante, no se obtendría una gran respuesta en la laminación de caudales (y la percolación de la escorrentía a su través se vería drásticamente reducida).

- La **permeabilidad** del terreno y la distancia al **nivel freático** (y su variabilidad estacional) determinan si las técnicas con función principal infiltración (balsas, zanjas y pozos de infiltración) se pueden considerar o no en el diseño del sistema. En el apartado 5.4.2 se estudia en detalle en qué escenarios es posible considerar la infiltración de manera segura.

- El **espacio** que pueda dedicarse a los SUDS, ya que define la posibilidad o no de incluir ciertos tipos de SUDS. Por ejemplo, las balsas, estanques y humedales consumen mucho espacio; mientras que los depósitos de infiltración enterrados promueven los espacios multifuncionales (dado que en su superficie se pueden incluir otras instalaciones compatibles).

- El **tamaño** y el **grado de impermeabilización de la cuenca drenante**, porque influyen directamente en la generación de escorrentía. Por lo tanto, para reducir el volumen y el caudal a gestionar por el sistema de drenaje es conveniente que el coeficiente de escorrentía global de la cuenca sea bajo, lográndolo, por ejemplo, al aumentar el porcentaje de verde en el ámbito con técnicas vegetadas o con superficies permeables.

- Los tipos de **contaminantes presentes en la escorrentía** determinan qué técnica SUDS es necesaria para alcanzar los niveles de calidad adecuados. De forma genérica, los pavimentos permeables y los parterres inundables del tipo área de biorretención son técnicas con un elevado rendimiento de eliminación de contaminantes; por este motivo, se suelen emplear en la gestión del

agua de lluvia de aparcamientos y viales. No obstante, el técnico competente usuario de la Guía encontrará en el apartado 5.4.3 la metodología propuesta para seleccionar las técnicas SUDS que garantizan el nivel de tratamiento en cada caso.

5.4.2 Evaluación de la infiltración

El objetivo principal del sistema de drenaje sostenible es gestionar la escorrentía en origen y, como segundo nivel en la jerarquía de puntos de descarga, se encuentra la infiltración. Es por ello que la adecuada justificación de su evaluación sea de suma importancia en el proceso de diseño.

Para ayudar al técnico competente en la determinación de si el caso de estudio puede contar o no con la infiltración, se ha elaborado la relación de preguntas que ha de plantearse y, en caso de que todas las respuestas sean afirmativas, entonces podrá tenerse en cuenta la infiltración.

Si la distancia entre el nivel freático y el sistema es menor a 1 m, es posible que se comprometa la integridad del SUDS durante su vida útil. En consecuencia, los SUDS deberían ser diseñados en superficie y evitar la infiltración, por ejemplo, con una geomembrana o lámina impermeable.

Es seguro infiltrar si se ha evaluado convenientemente el riesgo de inestabilidad del terreno, hundimiento o erosión; estabilidad de pendientes; riesgo de arrastrar contaminantes en el terreno que contaminen las aguas subterráneas; riesgo de que la escorrentía a gestionar contenga contaminantes que comprometan el estado natural del terreno y/o sus aguas; y el riesgo de afección a cimientos, túneles y otras infraestructuras.

Se podrá contar con evacuación por infiltración únicamente si la respuestas a todas estas preguntas es sí:

- ***¿El nivel freático está a más de 1 m desde la base del SUDS? En casos excepcionales, se puede reducir esta distancia a 0,60 m.***
- ***¿El estudio geológico identifica el terreno exento o a gran distancia de materiales limitantes, como arcillas expansivas, yeso o roca?***
- ***¿El valor de permeabilidad de cálculo kc es superior a 10^{-6} m/s?***
- ***¿La distancia a cimientos es superior a 3 m? Si se trata de un SUDS que sólo gestionan su propia escorrentía o la de una pequeña área a su alrededor, como son los pavimentos permeables, ¿la distancia es superior a 1,2 m?***
- ***¿Existen servicios públicos que pudieran ser afectados con la infiltración?***
- ***¿Es seguro infiltrar?***

Se considerará la infiltración como mecanismo único de vaciado del SUDS si la permeabilidad del terreno permite que la totalidad de la escorrentía almacenada sea evacuada en un plazo inferior a 48 h. En caso contrario, se almacenará e infiltrará en origen, en menos de 48h, tanta agua de lluvia como las condiciones del terreno lo permitan; y, complementariamente, se considerarán otros elementos de descarga de la escorrentía, siguiendo la jerarquía establecida en el apartado 5.3.

5.4.3 Evaluación de los contaminantes

Para determinar si la cadena de SUDS propuesta logra la reducción de contaminantes establecida según el uso del suelo, puede ser de aplicación el **Método de los Índices**, propuesto por *The SuDS Manual* (Woods-Ballard et al., 2015). Ésta evalúa el riesgo de contaminación teniendo en cuenta que no todos los dispositivos de drenaje sostenible tienen el mismo potencial de tratamiento de las escorrentías; y no toda la escorrentía produce la misma carga contaminante. En cada caso se evaluará si puede emplearse este método simplificado, o si, por el contrario, es necesaria una evaluación más detallada.

En el Método de los Índices, en primer lugar, se determina el **índice de peligrosidad de contaminación** que supone, para el medio receptor, los diferentes usos que se pueden desarrollar en un área en concreto. Este índice varía entre 0 (sin peligro de contaminación) y 1 (máximo peligro de contaminación). Para el ámbito de esta Guía, se propone emplear los valores recogidos en la Tabla 7.

A continuación, se determina el **índice de mitigación de contaminación** que ofrece cada uno de los **SUDS**, siguiendo la Tabla 8.

El **nivel de calidad** será el adecuado si el SUDS elegido tiene un índice de mitigación de la contaminación, para cada uno de los contaminantes estudiados, igual o superior al índice de peligrosidad de contaminación que el uso del suelo dicte.

Índice de mitigación de contaminación del SUDS (para cada tipo de contaminante) Consultar *Tabla 8*	**≥**	**Índice de peligrosidad de contaminación (para cada tipo de contaminante)** Consultar *Tabla 7*

Si con un solo SUDS no se cumple este requisito, el sistema deberá contar con una **cadena de SUDS**, es decir, se consideran varios SUDS dispuestos en serie. En este caso, el índice de mitigación no será la suma de los índices de los dos (o más) SUDS planteados, sino que el elemento colocado aguas abajo contará únicamente con un 50% de su índice. De esta forma se tiene en cuenta que gran parte de la contaminación ya ha sido reducida; y por ello, la concentración de carga contaminante que llega al siguiente SUDS es inferior, y la efectividad de los tratamientos es menor.

Índice de mitigación de contaminación de la cadena de SUDS	**=**	**Índice de mitigación de contaminación del SUDS 1** Consultar *Tabla 8*	**+ 0,5 ·**	**Índice de mitigación de contaminación del SUDS 2** Consultar *Tabla 8*

Se debe, a partir de estos valores, establecer la cadena de SUDS que alcance el rendimiento en eliminación de contaminantes necesario de las aguas recogidas.

Tabla 7. Índice de peligrosidad de contaminación. Fuente: Adaptado de Woods-Ballard et al. (2015).

ÍNDICE DE PELIGROSIDAD DE CONTAMINACIÓN				
Uso del suelo	**Nivel medio riesgo de contaminación**	**Sólidos en suspensión total**	**Metales**	**Hidro-carburos**
Tejados o cubiertas en zonas residenciales o industriales con una atmósfera limpia sin revestimientos de metal.	Bajo	0,2	0,2	0,05
Tejados o cubiertas en zonas residenciales o industriales sin revestimiento metálico con producción o manejo de mercancías o con una atmósfera contaminada.	Medio	0,3	0,2*	0,05
• Caminos o viales sin tráfico relevante (carriles bici, por ejemplo), pistas deportivas, garajes o zonas impermeables asociadas a edificaciones unifamiliares, plazas o zonas de uso lúdico. • Pistas o carreteras de muy débil tráfico (IMD<300 v/d), incluyendo zonas de aparcamiento y espacios comunes en zonas residenciales menores de 50 viviendas. • Zonas de estacionamiento de automóviles no residenciales con cambios poco frecuentes (por ejemplo, escuelas, oficinas).	Bajo	0,5	0,4	0,4
• Mercados al aire libre, zonas comerciales peatonales. Estacionamientos con frecuencia media de renovación. • Zonas residenciales con poco tráfico (IMD<2000) incluyendo aparcamientos colectivos, incluso en áreas industriales en las que no se manejen sustancias contaminantes. • Viales de capacidad media (IMD<15000), o de capacidad baja (IMD<2000) si el ambiente o el tipo de actividad en el área es contaminante. Se incluirán menores tasas de tráfico si hay un alto movimiento de sólidos no peligrosos (arenas, por ejemplo). • Aeródromos de baja intensidad de tráfico aéreo, sin instalaciones de lavado o repostaje. • Áreas de producción agropecuaria con bajo nivel de contaminación orgánica y sin uso de otro tipo de posibles sustancias contaminantes.	Medio	0,7	0,6	0,7
• Zonas de aparcamiento o tránsito peatonal en áreas comerciales o industriales con una alta densidad de tráfico (IMD>2000) o en ambientes con un alto nivel de contaminación en el suelo, debido a la propia actividad o a la ausencia de limpieza periódica. Se incluyen aparcamientos con una alta frecuencia de renovación. • Áreas con alto tráfico de vehículos (IMD> 15000). • Espacios vinculados a aeródromos no incluidos en el apartado anterior. • Áreas industriales de acopio y tráfico en las que se manejen sustancias contaminantes. Áreas vinculadas a plantas de tratamiento de aguas residuales y plantas de eliminación de desechos (por ejemplo, vertederos, plantas de transferencia, plantas de compostaje, etc.) • Zonas de actividad agropecuaria en las que se maneje estiércol u otras sustancias contaminantes.	Alto	0,8	0,8	0,9

** Hasta 0,8 donde es posible que aparezcan metales.*

Tabla 8. índice de mitigación de contaminación por tipología SUDS. Fuente: Adaptado de Woods-Ballard et al. (2015).

ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINACIÓN			
Tipología SUDS	**Sólidos en suspensión total**	**Metales**	**Hidrocarburos**
Cubiertas vegetadas	0,4	0,4	0,4
Aljibe	*	*	*
Pavimentos permeables	0,7	0,6	0,7
Parterres inundables del tipo jardín de lluvia	0,6	0,5	0,6
Parterres inundables del tipo área de biorretención	0,8	0,8	0,8
Alcorques estructurales	0,6	0,5	0,6
Zanjas y pozos de infiltración	0,4	0,4	0,4
Depósitos reticulares	*	*	*
Balsas de detención	0,5	0,5	0,6
Balsas de infiltración	0,6	0,5	0,6
Drenes filtrantes	0,4	0,4	0,4
Cunetas vegetadas	0,5	0,6	0,6
Estanques	0,7	0,7	0,5
Humedales artificiales	0,8	0,8	0,8

* Por sí mismos no ofrecen tratamiento, dependen del sistema complementario en la entrada

5.4.4 Técnicas SUDS posibles

En base a la caracterización del lugar (descrita en el apartado 5.2) se ha confeccionado un árbol de decisión de técnicas SUDS más adecuadas, mostrado en la Figura 15. Éste ha sido elaborado en base a diferentes referencias nacionales e internacionales y ofrece una evaluación genérica en el proceso de diseño del sistema de drenaje. Por ello, cabe destacar que, si se justifica convenientemente y particularizado para el caso de estudio, es posible el empleo de una técnica "no aconsejada" en el árbol de decisión.

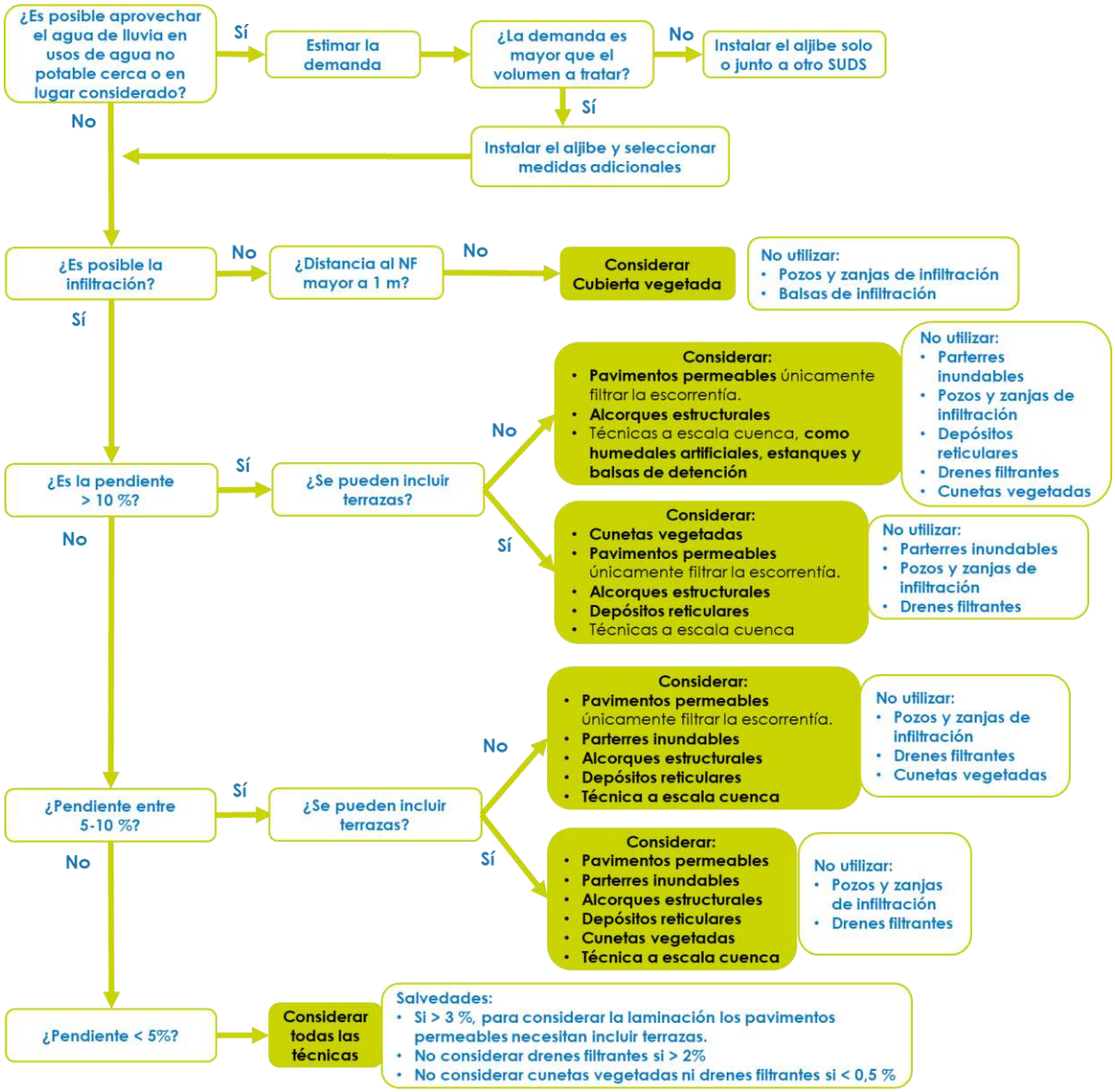


Figura 15. Árbol de decisión de técnicas SUDS.

5.5 Diseño, cálculo y modelización

El sistema de drenaje ha de cumplir los objetivos de cantidad y calidad, establecidos en el apartado 5.3, mediante la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

El proceso de diseño no sigue un orden lineal, ya que existen diferentes factores a evaluar y su estudio es transversal en muchos puntos. Además, para cumplir los objetivos de diseño es probable que sea necesario iterar entre diferentes pasos. No obstante, se presentan a continuación las principales pautas a seguir en el diseño y cálculo del sistema de drenaje:

1º. Análisis de la **topografía** estado natural (antes de la actuación), prestando especial atención a las pendientes y a los posibles puntos bajos. Para ello, se aconseja responder a las preguntas del apartado **5.2.1**.

2º. Análisis hidromorfométrico de **cuencas** en estado natural (antes de la actuación), permitiendo identificar los patrones naturales de drenaje que, en la medida de lo posible, se integrarán en la actuación. Para ello, es conveniente dar respuesta a las preguntas del apartado **5.2.2**.

3º. Estudio de la hidrogeología y geotecnia para determinar si es posible contar con **infiltración** en el sistema. Para ello, se deberá dar respuesta a las preguntas del apartado **5.2.3** y **5.4.2**.

4º. Análisis de las **infraestructuras existentes**, siguiendo las preguntas del apartado **5.2.5**.

5º. Estudio de la **vegetación** y la **biodiversidad**, siguiendo las preguntas del apartado **5.2.6**, e integración con la actuación.

6º. Identificación de los posibles **puntos de vertido** y las restricciones que pudieran tener asociadas.

7º. Análisis de la actuación para identificar posibles **localizaciones de SUDS y sus cuencas drenantes**. Se aconseja utilizar el árbol de decisión del apartado **5.4.4** para identificar los SUDS más idóneos.

8º. Encuadre de actuación, siguiendo la **clasificación** del apartado **5.1**.

9º. Diseño de los SUDS para cumplir los **objetivos de diseño** del apartado **5.3**, descargando la escorrentía tan alto como sea razonablemente posible en la jerarquía establecida.

10º. Comprobación de que el sistema de drenaje satisface los **criterios de control de la cantidad**, verificando que no se sobrepasan las restricciones de caudales en cada caso. Es de aplicación la pluviometría del apartado **5.2.4**.

11º. Comprobación de que el sistema de drenaje satisface los **criterios de control de la calidad**, verificando que se alcanza el nivel de tratamiento adecuado siguiendo el Método de los Índices, descrito en el apartado **5.4.3**. Es de aplicación la pluviometría del apartado **5.2.4**.

12º. Definir las labores principales de **mantenimiento** para el correcto funcionamiento del sistema, siguiendo las pautas del apartado **5.6**.

13º. Una vez el sistema cumpla los objetivos de diseño, realizar la **solicitud de tramitación de vertido** a la entidad competente. Puede ser de ayuda las pautas recogidas en el apartado **5.7**.

Para proyectos con una superficie total igual o superior a 5.000 m² se recomienda el empleo de herramientas de modelización matemática, por análisis hidrodinámico, del comportamiento hidrológico-hidráulico del sistema de drenaje propuesto.

5.6 Tareas de mantenimiento

En la documentación justificativa del sistema de drenaje se incluirán una serie de directrices y frecuencias sobre las operaciones y tareas de mantenimiento que serán necesarias para cada una de las técnicas SUDS que se vayan a implantar. Su objetivo principal debe ser mantener la funcionalidad y la calidad estética del sistema de drenaje durante toda su vida útil.

El programa de mantenimiento debe concebirse desde las fases iniciales, pues puede ser necesario habilitar accesos, tanto para el personal como para la maquinaria necesaria, que permitan la inspección y mantenimiento de las técnicas SUDS. Complementariamente, se debe tener en cuenta las actividades desarrolladas durante la fase de construcción, ya que pueden suponer la acumulación de sedimentos o el riesgo de vertidos no considerados en la fase de diseño.

Las tareas requeridas dependerán de las condiciones de uso y de las características particulares del emplazamiento. No obstante, en las fichas de las técnicas SUDS del apartado 4 se recogen las tareas más genéricas y su frecuencia teórica, que pueden servir de orientación inicial al técnico competente.

Para conseguir que los SUDS aporten un valor paisajístico urbano diferenciador para los vecinos, puede ser necesario enfocar el mantenimiento a tareas puramente estéticas. Además, la creación y conservación de hábitats puede marcar la época del año en la que es más aconsejable llevar a cabo ciertas tareas de mantenimiento, de modo que no se altere su evolución.

Las tareas de mantenimiento que se pueden plantear para cada técnica SUDS se puede clasificar en tres grupos:

- **Mantenimiento regular**. Abarca tareas que serán necesarias, y de las que se conoce aproximadamente su frecuencia. Hace referencia a actividades como inspecciones, retirada de basura y control de la vegetación (recortes y podas de árboles, retirada de especies no deseadas y plantas muertas, …).
- **Mantenimiento ocasional**. Se trata de tareas que se prevé sean necesarias, pero se desconoce cuándo lo serán. La eliminación de sedimentos y la sustitución de la vegetación son algunos ejemplos.
- **Mantenimiento correctivo**. Engloba a las tareas requeridas cuando falla algún componente del SUDS y es precisa su reparación y/o rehabilitación. Por ejemplo, cuando se producen cárcavas por no haber detectado algún punto de entrada de agua en la fase de diseño, o tras actos vandálicos.

Este plan de mantenimiento se trata de una primera aproximación ya que, durante la fase de operación, se ha de observar cómo responde el sistema. Si fuera necesario, se deberán ajustar las frecuencias previamente indicadas, así como los recursos dedicados a tal fin. En caso de que el sistema cuente con un plan de monitorización, este ajuste aportará mayor información respecto a las características particulares del emplazamiento y sus futuras actuaciones.

5.7 Solicitud de la tramitación de vertido

El punto de vertido se establece siguiendo la jerarquía de descarga de la escorrentía de aguas superficiales, recogida del apartado 5.3. En función de cuál sea dicho punto de vertido, la solicitud de la tramitación de vertido debe realizarse a la entidad competente.

- Cuando el punto de vertido sea a **cauce/arroyo** más cercano, la solicitud de autorización de obra para vertido de pluviales debe realizarse a la **Confederación Hidrográfica del Júcar**

  Los escenarios que requieren autorización, la hoja informativa y el modelo de solicitud se puede consultar en este Link.

- Cuando el punto de vertido sea al Mar Mediterráneo, la solicitud de vertido se realizará a la Dirección General de Costas.
- Cuando el punto de vertido sea la red municipal, unitaria o de pluviales, la solicitud se tramitará por el servicio competente del Ayuntamiento de Castelló de la Plana.



6. BIBLIOGRAFÍA

Las referencias empleadas para inspirar el texto de la guía se recogen a continuación:

Alameda County Works Agency (2019). *Green Infrastructure Project*. *Two agency-owned parking lots at 951 Turner Court in Hayward, CA.* California. Link

Alameda Countywide Clean Water Program (2016). *C.3 Stormwater Technical Guidance. A handbook for developers, builders and project applicants*. Version 5.1. California. Link

Atlanta Regional Commission. (2016). *Georgia Stormwater Manangement Manual*. USA: Atlanta Regional Commission (ARC) in collaboration with AECOM, Center for Watershed Protection, Center Forward, Georgia Environmental Protection Division y Mandel Design. Link

Ayuntamiento de Madrid (2018). Guía Básica de Diseño de sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y Otros Espacios Libres. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad. Link

Ballester-Olmos y Anguís, J. F., Peris García, P. ., Perales-Momparler, S., Andrés-Domenech, I., & Escuder-Bueno, I. (2015). *El agua en Benaguasil. Un viaje en el tiempo*. Ajuntament de Benaguasil, España. Link

BOE (2016a) *Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2-IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras*. Ministerio de Fomento. Boletín Oficial del Estado. BOE núm. 60, pp. 18882 – 19023. Link

BOE (2016b). *Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.* Boletín Oficial del Estado . BOE núm. 314, Sec. I, pp. 91133-91175. Link

Campbell, N., D'Arcy, B., Frost, A., Novotny, V., Sansom, A. (2006) *Diffuse Pollution. An introduction to the problems and solutions.* IWA Publishing. ISBN: 190-02-225-31.

Cambridge City Council (2009). *Sustainable Drainage. Cambridge Design and Adoption Guide*. Environment and Planning. Link

City of Mesa (2015). *Low Impact Development Toolkit*. Arizona. USA. Link

City of San Diego (2016). *San Diego Low Impact Development Design Manual*. Document No. PITS070111-01. Link

Fundación Conama (2019). *Agua y economía circular*. Congreso Nacional de Medio Ambiente (Conama). Link

CTE (2008). *Documento Básico SE-C. Seguridad estructural Cimientos. Código Técnico de la Edificación. Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores* (BOE 25/01/2008). Link

CoSuDS Project (2016a). *Collaborative transition towards sustainable urban drainage: making it happen at district scale.* Final report. Link

CoSuDS Project (2016b). *White paper for a collaborative transition towards sustainable urban drainage. Lessons learned from an analysis at district scale in Castellón (Spain).* Link

CoSuDS Project (2016c). Guide for conducting collaborative sessions for boosting the transition toward sustainable stormwater management.

Clean Water Services (2009). Low Impact Development Approaches. LIDA Handbook. Link

CONAMA (Congreso Nacional de Medio Ambiente) (2018). *Agua y ciudad. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.* Grupo de trabajo ST-10. Fundación CONAMA. Link

Correa, E. N., Flores Larsen, S., Lesino, G. (2003). *Isla de calor urbana: Efecto de los pavimentos*. Avance en Energía Renovable y Medio Ambiente, 7(2). Link

Corts Valencianes. (2017). *Resolución 997/IX, sobre la incorporación de medidas de prevención y técnicas relacionadas con el uso de sistemas de drenaje sostenible en el diseño de la infraestructura verde incluida o asociada a los planes de ordenación del territorio, aprobada por la*. BOCV núm. 189 del 16/06/2017, pp. 28390-28391. Link

D'Arcy, B., Perales-Momparler, S. (2013). *What to do about the rain in Spain?* Urban Water Management. Water21. Octubre, p.p. 44-46.

District of Columbia (2014). *Greening DC Streets*. Department of transportation. Link

Febles, D., Perales, S., Soto, R. (2009). *Innovación y Sostenibilidad en la Gestión del Drenaje Urbano: Primeras Experiencias de SuDS en la Ciudad de Barcelona.* Primeras Jornadas de Ingeniería del Agua. CEDEX. Madrid. 27-28 Octubre 2009. Link

Generalitat Valenciana. (2015). *Decreto 201/2015, de 29 de octubre, del Consell, por el que se aprueba el Plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunitat Valenciana*. DOGV núm. 7649 de 03.11.2015. Link

Irastorza, L. (2017) *Ciudades inteligentes: requerimientos, desafíos y algunas claves para su diseño y transformación*. Revista de Derecho Urbanístico y medio ambiente, núm. 312, pp. 69 – 110.

King County (2007). *Model Low Impact Development. Strategies for Big Box Retail Stores. The greening of surface water management methods for large format retailers.* Department of Natural Resources and Parks. Water and Land Resources Division. Link

London Borough of Haringey (2018). *Sustainable Drainage. Design and evaluation guide.* Robert Bray Associates and McCloy Consulting. Link

Minnesota Pollution Control Agency (2019). *Minnesota Stormwater Manual website*. Link

New Jersey Department of Environmental Protection (2016). *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual.* Division of Watershed Management. Link

NHBC Foundation (2010). *A simple guide to Sustainable Drainage Systems for housing*. IHS BRE Press. Link

North Carolina (2017). *Stormwater Design Maintenance*. North Carolina Department of Environmental Quality. USA. Link

North Carolina State University (2008). *Rainwater Harvesting: Guidance for Homeowners.* Urban Waterways. Biological & Agricultural Engineering. Link

Perales-Momparler S., Andrés-Doménech I. (2016). *Retos para la integración de los sistemas de drenaje sostenible en los procesos de planificación vigentes*. IX Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua. (61 - 78). Valencia. España: Fundación Nueva Cultura del Agua. Conferencia invitada.

Perales-Momparler S., Valls-Benavides, G. (2013) *Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS)*. Paisea nº 024: Espacios del Agua. Paisea revista s.l. ISSN 1887-2557.

Philadelphia Water Department (2018). *Stormwater Management Guidance Manual*. Version 3.1. Link

Philadelphia Water Department and Streets Department (2014). *City of Philadelphia Green Streets Design Manual*. City of Philadelphia (USA). Link

Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SWRPC) (1991). *Costs of urban nonpoint source water pollution control measures*. Technical Report No. 31.

Témez Peláez, J. R. (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras. MOPU.

Toronto and Region Conservation Authority (2015). *Performance Comparison of Surface and Underground Infiltration Practices.* Low Impact Development Series. Link

University of Arkansas Community Design Center (2010). *LID Low Impact Development a design manual for urban areas*. US Environmental Protection Agency & Arkansas Natural Resources Commission. USA. Link

University of Cincinnati (2016). *East Campus Stormwater Opportunities Plan. Health sciences building & shields street extension.* Strand Associates, Inc. & Human Nature, Inc. Link

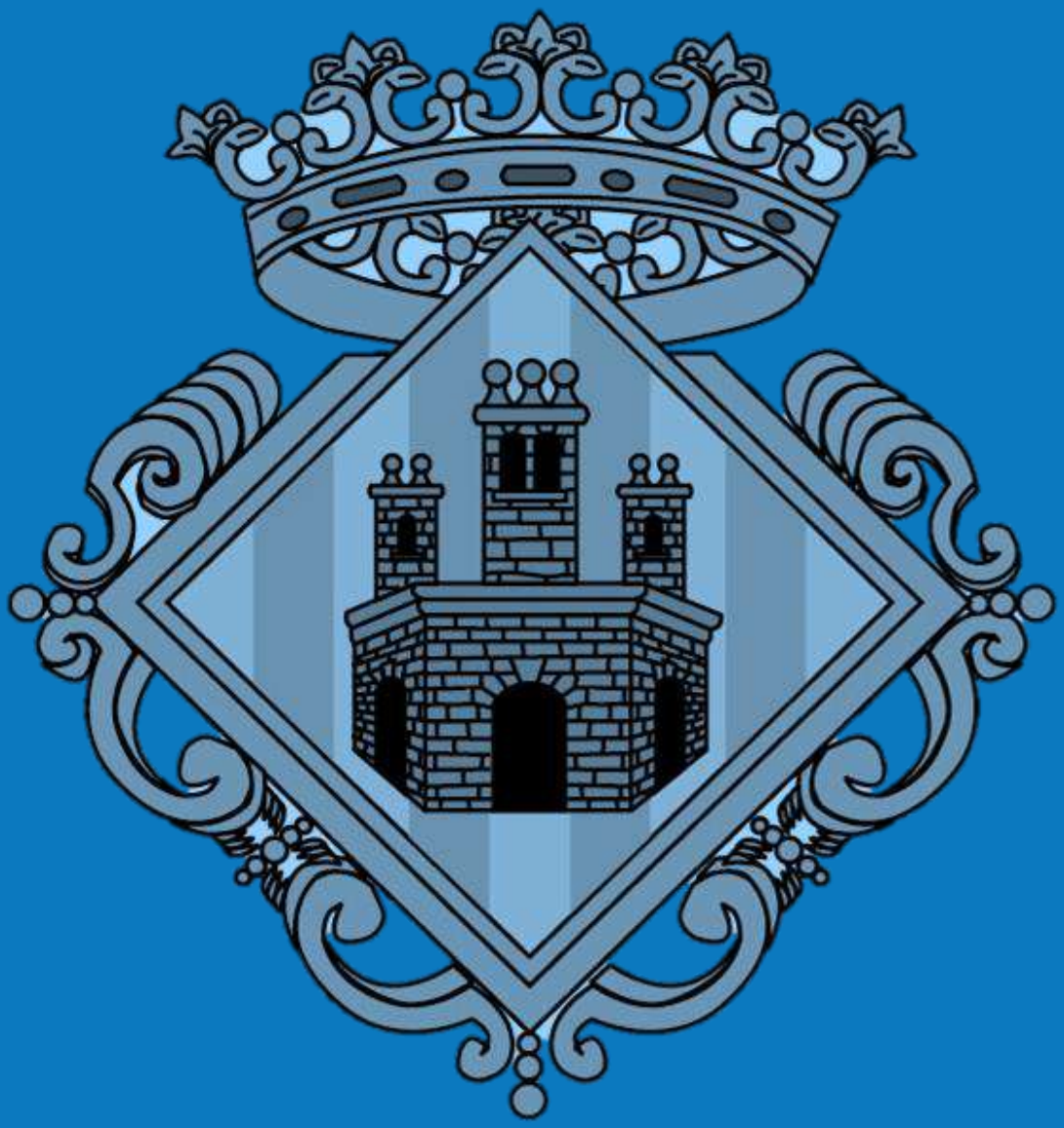
University of Tennessee (2013). *Low Impact Development. Opportunities for the PlanET Region*. City of Knoxville, Tennessee.

Washington State University Extention Factulty (2012). *Low Impact Development. Technical Guidance Manual for Puget Sound*. Puget Sound Parnership. Link

Woods-Ballard, P., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). ***The SUDS Manual***. London (UK): CIRIA. Link

Willner, S.N., Levermann, A., Zhao, F., Frieler, K. (2018). Adaptation required to preserve future high-end river flood risk at present levels. Science Advances 4(1), eaao1914. Link

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme) (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions*. Paris, UNESCO. Link



Ajuntament
de Castelló