Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València

AJUNTAMENT DE VALÈNCIA

Cicle Integral de l'Aigua

Junio 2021

2ª Edición

CRÉDITOS

Promotor:

Cicle Integral de l'Aigua

Ajuntament de València

Autores:

Laura de la Fuente García

Cicle Integral de l'Aigua

Sara Perales Momparler

Green Blue Management S.L. (Grupo TYPSA)

Miguel Rico Cortés

Green Blue Management S.L. (Grupo TYPSA)

Ignacio Andrés Doménech

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

Juan Bautista Marco Segura

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

ISBN: 978-84-9089-386-9
Junio 2021 (2ª Edición mayo 2022)

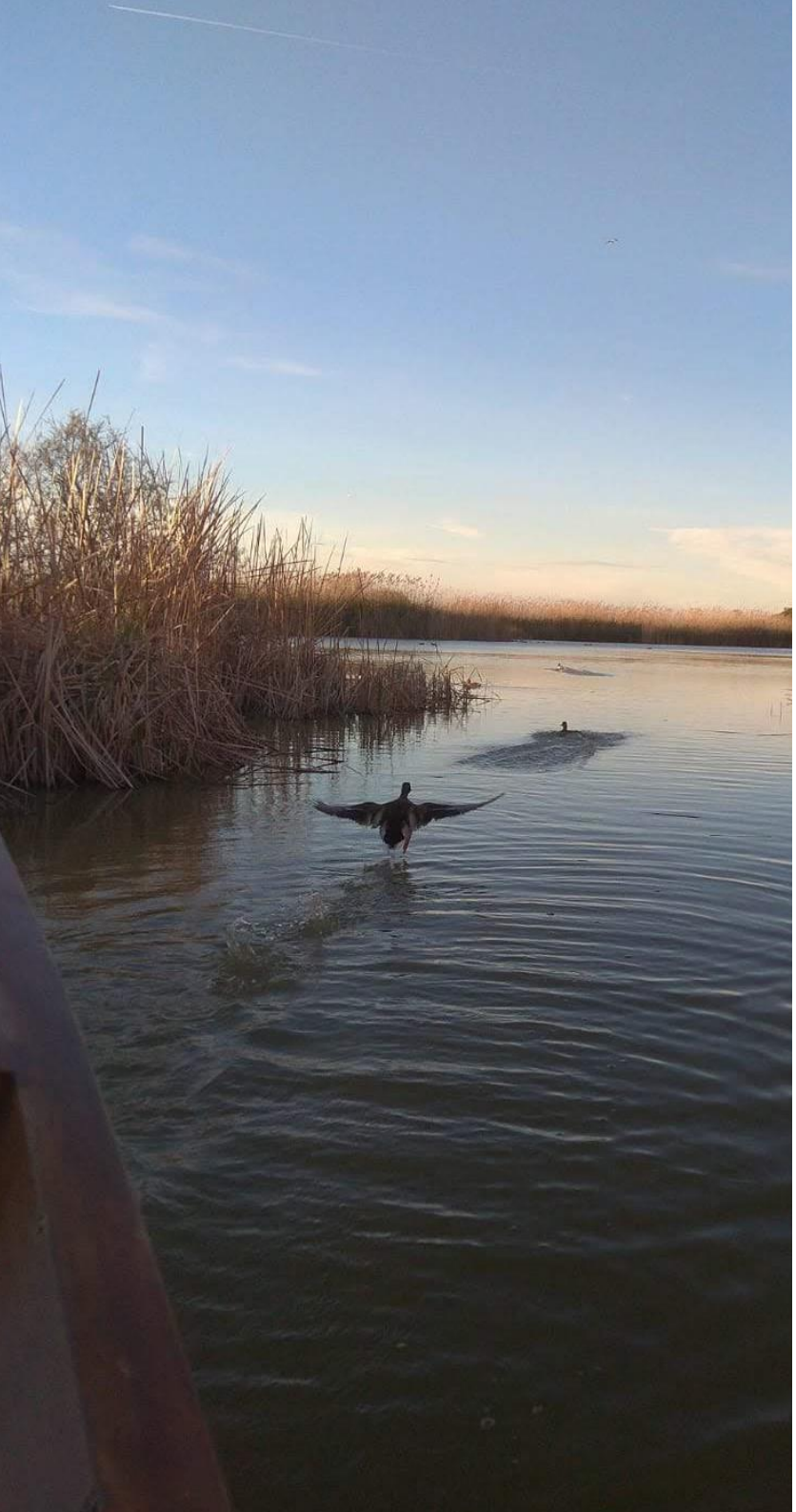
© Ajuntament de València
Reservados todos los derechos

Depósito Legal: V-1687-2021
Citar esta publicación como:
De la Fuente García, L., Perales Momparler, S., Rico Cortés, M., Andrés Doménech, I., Marco Segura, J. B. (2021) *Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València.* Cicle Integral de l'Aigua. Ajuntament de València.

ÍNDICE

1. Introducción y motivación 4
2. Los retos del drenaje urbano 6
   2.1. La problemática del drenaje urbano 6
   2.2. Las lluvias en València 9
   2.3. Las Soluciones basadas en la Naturaleza 12
3. Marco regulatorio 14
   3.1. Perspectiva global 14
   3.2. Marco estatal 16
   3.3. Marco autonómico y municipal 17
4. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible 20
   4.1. Funcionamiento de los SUDS 20
   4.2. Principales tipos de SUDS 23
   4.3. Otras medidas no estructurales 30
   4.4. La importancia del mantenimiento 33
5. Los SUDS en València 34
   5.1. El Parc Central 34
   5.2. Nuevo rastro de València 37
   5.3. Jardí del Túria 39
   5.4. Urbanización en Ausiàs March 40
   5.5. Plaza de la Ermita de San Jerónimo 42
   5.6. Plaza Amparo Arce 43
   5.7. Plaza Lorenzo de la Flor 45
   5.8. Carril bici en la calle Manuel Candela 47
6. El Proceso de Diseño 50
   6.1. Condicionantes del diseño 51
   6.2. Tipologías edificatorias 62
   6.3. El proceso de diseño 73
   6.4. Dimensionamiento de los SUDS 77
   6.5. Ejemplos de aplicación 78
   6.6. Diseño y modelización 82
7. Referencias 84
   7.1. Manuales de referencia 84
   7.2. Marco Regulatorio 85
   7.3. Proyectos 87
   7.4. Otros 87

Anejo: Fichas SUDS 89



1. Introducción y motivación

Los **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)** son sistemas de drenaje alternativos, complementarios a los convencionales, que gestionan la escorrentía producida en las superficies mediante técnicas que replican los procesos naturales, previos al desarrollo urbano. Para ello, se sirven de elementos de captación, laminación y tratamiento estratégicamente integrados en el paisaje urbano.

Tradicionalmente, el drenaje urbano ha estado orientado a evacuar las aguas pluviales lo más rápidamente posible de la ciudad, empleando sistemas de alcantarillado que desembocaran en medios receptores naturales. El crecimiento de las ciudades y, en consecuencia, de las superficies impermeables, ha provocado que las capacidades necesarias en estas redes sean cada vez mayores, ocasionando complejos problemas técnicos y económicos.

Habitualmente la calidad de las escorrentías generadas también puede resultar dañina para el medio receptor, ocasionando un problema de calidad de aguas y haciendo necesario un importante gasto energético en la mejora de esa calidad.

Los SUDS generalmente **actúan en el origen de las escorrentías**, es decir, en los puntos donde se produce el contacto de la lluvia con la ciudad: azoteas, calzadas, aceras, jardines... Estas técnicas buscan almacenar, infiltrar y/o evapotranspirar en origen tanta lluvia como sea posible.

De este modo, los SUDS consiguen tres objetivos fundamentales: por un lado, **reducen los volúmenes totales** descargados a las redes de drenaje y al medio receptor al infiltrar y retener parte de la escorrentía; así mismo, **pueden mejorar la calidad de las aguas** descargadas a la red al aplicar tratamientos físicos, biológicos, etc.; y, por último, **laminan los caudales pico**

vertidos al detener temporalmente las escorrentías, previniendo de este modo la saturación de las redes de drenaje.

Imagen 1. Jardín de lluvia integrado en el paisaje urbano. Fuente: EMASESA.

Además de estas ventajas desde el punto de vista hidrológico, los SUDS aportan importantes **beneficios derivados de su implantación en zonas verdes**. Estos beneficios, pueden incluir ahorros energéticos (en bombeo y tratamiento de aguas), atenuación de la isla de calor urbana (gracias a la presencia de vegetación) o mejora de la calidad del aire (los procesos de respiración de las plantas contribuyen a la absorción de parte del CO_2 presente en la atmosfera).

En los últimos años estas técnicas, ya muy extendidas en el mundo, se han ido implantando en España de manera progresiva. Existen numerosos ejemplos de SUDS en ciudades de climatología muy diversa, como Sevilla, Barcelona, Madrid, Santander o València, que también cuenta ya con algunas experiencias SUDS en su núcleo urbano.

A pesar de ello, los SUDS siguen siendo desconocidos para la mayoría de los técnicos y proyectistas, y en ocasiones, esto impide que su uso sea más generalizado. Es en este contexto donde nace esta guía, que pretende servir de **presentación de los SUDS** como una solución innovadora a los retos que plantea el drenaje urbano de València. En ella se expondrán las técnicas SUDS más adecuadas para la ciudad, y se orientará al técnico en su proceso de diseño.

Imagen 2. Huertos urbanos en el Parc Central de València.

2. Los retos del drenaje urbano

2.1. La problemática del drenaje urbano

En las últimas décadas el territorio urbano ha ido avanzando de manera progresiva, existiendo un **crecimiento sostenido y acusado de las ciudades**. Esta urbanización sistemática del territorio ha causado importantes modificaciones en el ciclo hidrológico natural en varios aspectos:

- Por un lado, se ha aumentado la impermeabilidad del suelo, impidiendo que el agua procedente de las lluvias pueda infiltrarse de manera natural al subsuelo.

- Por otro lado, los usos del suelo urbanos (viales, viviendas…) han reducido la densidad de vegetación existente en el régimen natural, eliminando gran parte de las plantas que contribuían a la evapotranspiración de las aguas pluviales. Así mismo, los usos del suelo urbano son incompatibles en muchas ocasiones con grandes almacenamientos en superficie.

Estos cambios en el régimen natural impactan directamente en la hidrología de las cuencas urbanas, produciendo generalmente las siguientes **consecuencias**:

- Aumento del volumen de escorrentía.
- Disminución del tiempo de respuesta hidrológica.
- Aumento del caudal pico.
- Disminución de la recarga natural de los acuíferos.
- Disminución del flujo base en cauces naturales.

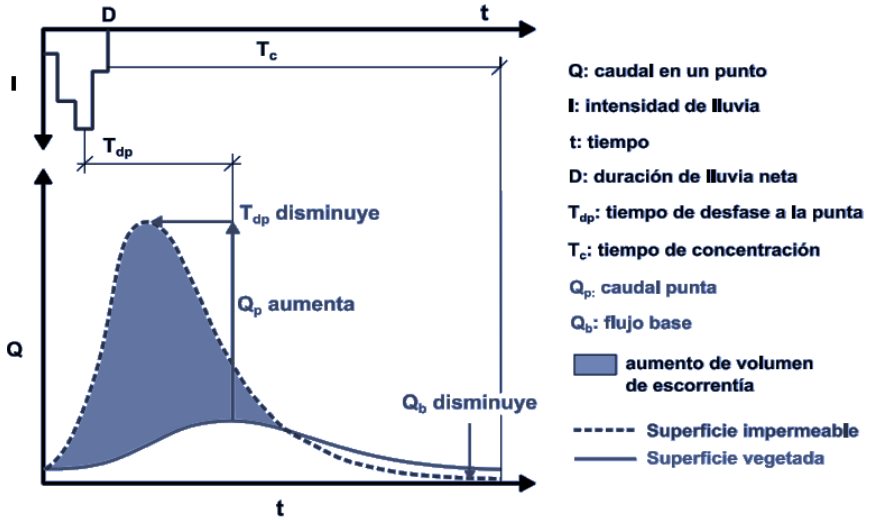


Figura 1. Variaciones en el hidrograma de respuesta de una cuenca debido a la impermeabilización. Fuente: Perales-Momparler y Valls-Benavides (2013).

Tradicionalmente la ingeniería sanitaria ha estado enfocada a evacuar las aguas pluviales de la superficie del modo más rápido posible, de manera que no afectasen a la vida cotidiana de los habitantes. Este criterio tradicional de diseño suele presentar problemas de funcionamiento, especialmente en los eventos torrenciales, cuando **los elementos de drenaje convencional (imbornales, sumideros y redes de colectores) no tienen capacidad suficiente** para lidiar con los caudales producidos por un territorio cada vez más impermeable.

La expansión de las ciudades trae consigo la creación de nuevas superficies impermeables cuyas redes de drenaje, de nueva implantación, suelen conectarse a otras infraestructuras de drenaje existente. Las infraestructuras de drenaje son muy costosas de ampliar y mejorar, especialmente en zonas consolidadas, por lo que, si las redes existentes no presentan capacidad suficiente, su ampliación no suele ser una solución viable desde el punto de vista económico y técnico.

Por otro lado, las **escorrentías urbanas presentan, en general, un alto grado de contaminación**, ya que, conforme las aguas de lluvia recorren la superficie de la ciudad, se mezclan con las sustancias presentes en la calzada (hidrocarburos, sedimentos...), depositadas durante los periodos secos. Este hecho provoca que un agua limpia en origen se contamine, requiriendo un tratamiento previo al vertido, con los costes asociados que esto conlleva.

Imagen 3. Hidrocarburos presentes en la escorrentía urbana de València.

Imagen 4. Alivio del sistema unitario en tiempo de lluvia.

Imagen 5. Flotantes interceptados antes de la descarga al medio receptor.

Además, en el caso de redes unitarias (trasiegan tanto aguas pluviales como aguas residuales) la sobrecarga ocasionada por eventos extremos de lluvia puede provocar **vertidos al medio receptor de aguas sin tratar**, lo que constituye un grave problema medioambiental, ampliamente documentado, conocido como Descargas de Sistemas Unitarios (DSU).

Imagen 6. Descarga de una red de colectores unitaria (DSU).

El cambio climático también supone un importante desafío para el drenaje urbano, aumentando la frecuencia de los eventos torrenciales. Según las últimas publicaciones del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), se estima que la **ocurrencia y severidad de las inundaciones se ha incrementado muy sensiblemente**, presentando graves efectos socioeconómicos. Por otro lado, el cambio climático trae aparejado un aumento de las temperaturas medias que se percibe con mayor intensidad en las ciudades, donde el **efecto "isla de calor"** retiene las altas temperaturas durante gran parte del día.

La reducción de la frecuencia de las precipitaciones, unida a la superpoblación de la zona mediterránea, generan un **estrés hídrico** preocupante en el litoral. En este contexto, el aprovechamiento del agua de lluvia potenciando su infiltración y la recarga de los acuíferos, parece una opción interesante.

Imagen 7. Avenida Tarongers en València tras un fuerte episodio de lluvias en 2018.

En definitiva, el drenaje urbano se encuentra en un momento de cambio donde son necesarias soluciones innovadoras que permitan que **el crecimiento urbano sea sostenible** y no comprometa al medio ambiente.

2.2. Las lluvias en València

La ciudad de València presenta un clima mediterráneo en su variedad típica (Csa, clasificación climática de Köppen). Esta climatología se caracteriza por tener unas **temperaturas suaves**, sin extremos muy acusados, y una **precipitación próxima a los 450 mm/año**.

La precipitación en València está distribuida de forma desigual a lo largo del año, con unos mínimos muy marcados en los meses de junio, julio y agosto; y unos **máximos localizados en los meses de septiembre y octubre**, donde se concentra casi un tercio del volumen anual de precipitación. Además, es habitual la alternancia entre periodos de sequía y épocas más húmedas, que suelen extenderse durante varios años debido a la inercia climática mediterránea.

La **torrencialidad** en las lluvias es una característica fundamental del régimen pluviométrico, siendo frecuentes los Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), tradicionalmente conocidos como “Gota Fría”, y en los últimos años de un modo más preciso como DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos). Estos eventos se caracterizan por una **precipitación muy localizada y de gran intensidad**, como puede verse en el gráfico de precipitaciones acumuladas de la Figura 2. Afortunadamente, estos episodios son relativamente poco frecuentes, y suelen producirse en los meses de septiembre u octubre.

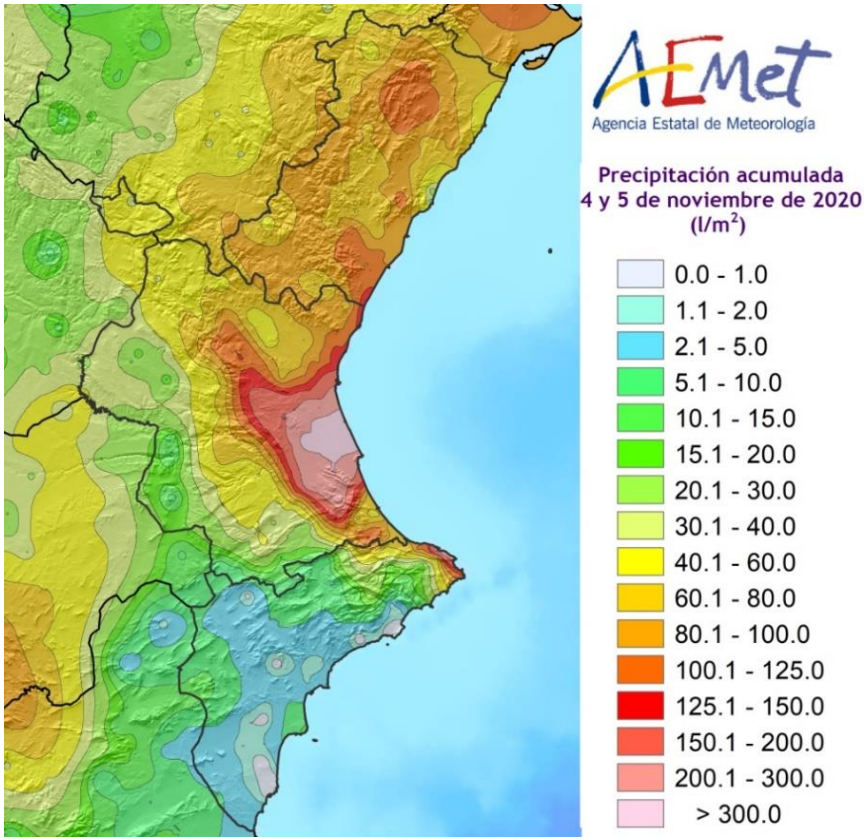


Figura 2. Precipitación acumulada en la Comunitat Valenciana tras las lluvias torrenciales del 5 de noviembre de 2020. Fuente: AEMET.

El origen de estos eventos convectivos está ligado al enfriamiento diferencial del Mar Mediterráneo. Durante el otoño, la temperatura del mar es mayor que la de las costas emergidas. Este hecho, combinado con las primeras bolsas de aire frío en altura del otoño, produce una convección desde la superficie del mar hacia la atmósfera, favoreciendo la aparición de nubes que se enfrían rápidamente en altura, produciendo intensas precipitaciones. El viento de Levante es esencial para el fenómeno, transportando las celdas convectivas hacia la costa, y produciendo su elevación en las cadenas montañosas costeras, como puede verse en la siguiente figura.

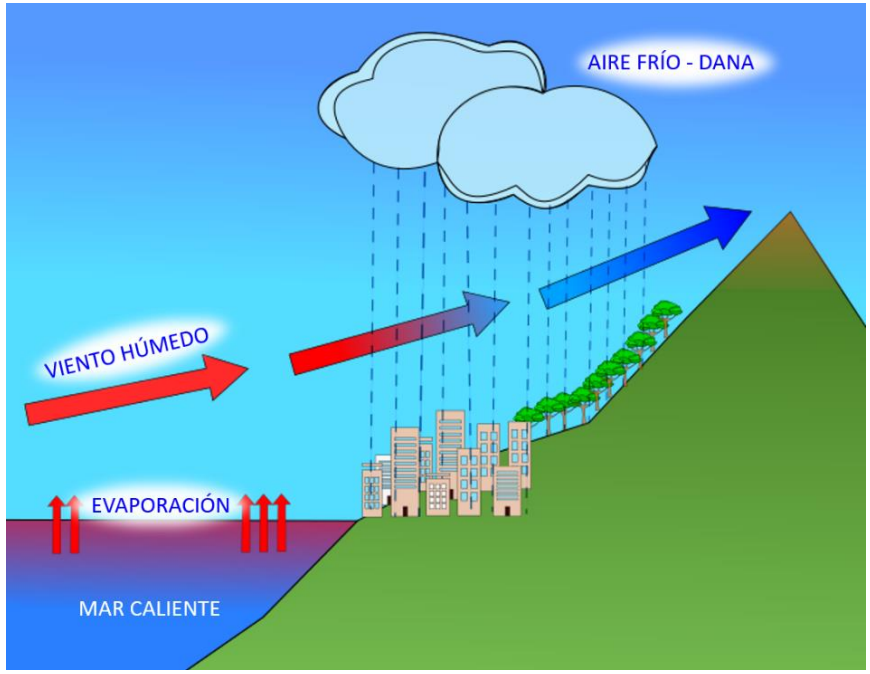


Figura 3. Diagrama de formación de las DANA.

Históricamente, estas intensas precipitaciones en el litoral han causado cuantiosos daños en la ciudad. Uno de los peores episodios tuvo lugar el 14 de octubre de 1957, cuando se produjo una fuerte crecida en el río Turia (ondas de crecida de más de 3.500 m^3/s) provocada por las intensas

lluvias registradas en la cuenca del río durante las jornadas previas. Esta crecida marcó un hito en la ciudad y comportó graves daños materiales y humanos. Con la finalidad de evitar situaciones similares, se acometió el desvío del río Turia por el sur de la ciudad, en una gran obra de ingeniería fluvial denominada Plan Sur.

Imagen 8. Desbordamiento del río Turia durante la Gran Riada de 1957.

En aquel momento, tras 20 años de guerra civil y posguerra, València carecía de todo tipo de infraestructuras. La ciudad, el suelo impermeable, habían crecido de forma caótica y precaria sobre la huerta. La Solución Sur no sólo se generó para resolver el problema de las inundaciones, sino también creó el marco para resolver los accesos a la ciudad, los enlaces ferroviarios, la ampliación del puerto, y también la infraestructura de saneamiento.

València carecía de colectores, el 65 % del alcantarillado iba a la red de acequias, y el resto, al cauce del Turia o directamente a las playas. Incluso en 1981, la red de saneamiento estaba incompleta y un tercio de la ciudad vertía sin depuración a las acequias de la huerta. Una parte crucial de la Solución Sur fue la vertebración del saneamiento en torno a dos grandes colectores, Sur y Norte, que convergían en la depuradora de Pinedo, eliminando el uso del viejo cauce como cloaca.

Esta solución, que fue evidentemente muy dura y costosa, resultó inevitable porque la ciudad ya estaba allí, se había desarrollado sin alcantarillado y sin zonas verdes durante más de dos décadas. Hoy afortunadamente no es así, y València puede y debe permitirse otro tipo de enfoque para el saneamiento. Es necesario abordar los problemas en origen, y de un modo más acorde con la sensibilidad ambiental, logrando además una mayor economía y una reducción de los problemas ambientales. La reducción del tamaño de las redes y las necesidades infraestructurales se logra así actuando desde la propia concepción de los desarrollos urbanos, contribuyendo a hacer una ciudad más habitable.

2.3. Las Soluciones basadas en la Naturaleza

La urbanización del territorio ha planteado diversas modificaciones en el ciclo hidrológico, alterando los procesos naturales. De un modo intuitivo, la solución a esta problemática vendrá dada por aquellas actuaciones que **minimicen los impactos de la urbanización y reproduzcan el comportamiento hidrológico** previo al desarrollo urbano.

Para la Comisión Europea, las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) son **"soluciones a desafíos a los que se enfrenta la sociedad que están inspiradas y respaldadas por la naturaleza; que son rentables y proporcionan a la vez beneficios ambientales, sociales y económicos, y ayudan a aumentar la resiliencia"**. Es en este punto donde aparecen los SUDS como una alternativa innovadora de gestión de las aguas pluviales, ya que tratan de restituir los procesos hidrológicos previos al desarrollo urbano, potenciando la laminación, filtración e infiltración.

Los SUDS actúan generalmente en el **punto de contacto de la lluvia con las superficies** urbanas (viales, plazas, cubiertas...) y su principio básico es la **retención descentralizada**, es decir retener e infiltrar en origen el mayor volumen posible de escorrentía. Además de los beneficios estrictamente hidrológicos, los SUDS buscan obtener **valores añadidos para la ciudadanía**, proporcionando zonas verdes y espacios de mejora de la biodiversidad.

Gracias a su versatilidad y a sus funciones hidrológicas, sociales y medioambientales, los SUDS se integran dentro de la **Infraestructura Verde**, que la Comisión Europea define como "una red estratégicamente planeada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales" (Comisión Europea, 2014). Además, los SUDS constituyen una de las medidas en la transición hacia las **Water Smart City**, ciudades con una alta eficiencia en la gestión de los recursos hídricos (Hattum *et al.*, 2016).

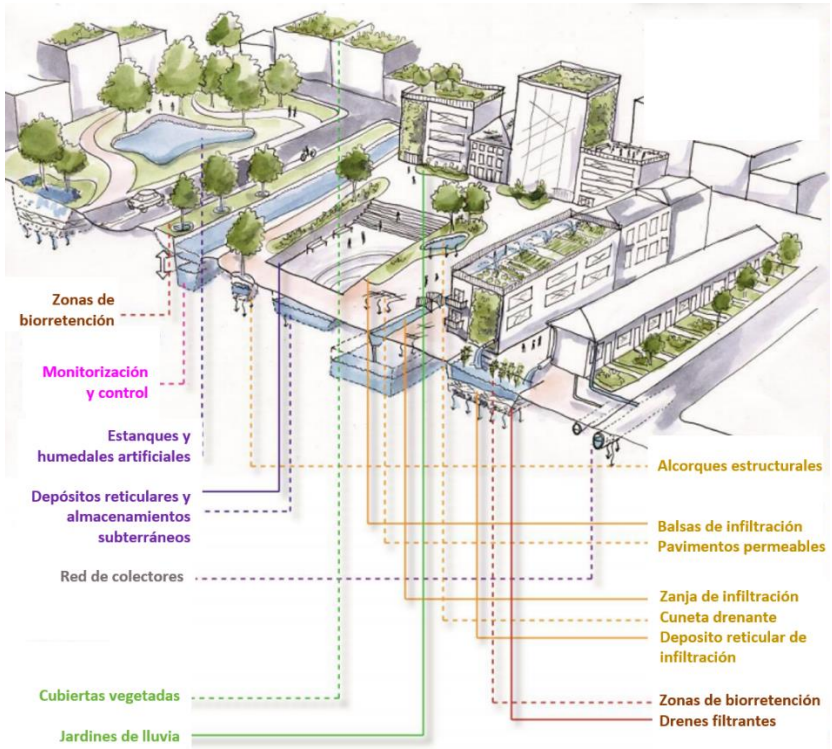


Figura 4. SUDS integrados en la ciudad. Fuente: Adaptado de Hattum *et al.* (2016).

Imagen 9. Jardines de lluvia en la Zona Franca, Barcelona.

3. Marco regulatorio

3.1. Perspectiva global

Objetivos de Desarrollo Sostenible

El 25 de septiembre de 2015 la asamblea general de la Organización de las Naciones Unidas adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un acuerdo global a favor de las personas, el planeta y la prosperidad que pretende fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. La Agenda 2030 plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, objetivos específicos de aplicación universal que, con sus 169 metas, pretenden abordar los desafíos mundiales más urgentes: acabar con la pobreza y promover la prosperidad económica, la inclusión social, la sostenibilidad medioambiental, la paz y el buen gobierno.

Figura 5: ODS a los que principalmente contribuyen los SUDS.

En el marco de la sostenibilidad medioambiental, los SUDS contribuyen desde diferentes áreas al cumplimiento de la Agenda 2030, influyendo significativamente a la consecución de los ODS 3, 6, 11, 13, 14, 15 y 17. Aunque el ODS 6, "Agua limpia y saneamiento", es, en principio, el más ligado al ámbito de actuación de los SUDS, estos también pueden contribuir a alcanzar metas establecidas por los demás objetivos señalados.

Los ODS 6, 14 y 15 son los más directamente relacionados con los beneficios que los SUDS aportan en la gestión del agua urbana. Los SUDS contribuyen directamente a su logro reduciendo la escorrentía urbana y mejorando la calidad del agua, contribuyendo de este modo a las metas "mejorar la calidad del agua, reduciendo la contaminación y eliminando vertidos" (meta 6.3), "prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo" (meta 14.1) y "velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de (...) los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan" (meta 15.1).

Adicionalmente, los SUDS contribuyen de forma más indirecta a metas de los ODS 3, 11 y 13, a través de la "mejora de la calidad del aire y el agua de las zonas urbanas y periurbanas" (meta 3.9); por el "fomento de la urbanización inclusiva y sostenible" (meta 11.3); y por aumentar la resiliencia de las ciudades frente a eventos climáticos adversos como sequías o inundaciones. Adicionalmente, al aumentar las zonas verdes mejoran la calidad de vida de las personas (metas 13.1 y 13.2).

Por último, y siendo un reto para la gestión municipal, los SUDS son elementos que deben "mejorar la coherencia de las políticas para el desarrollo sostenible" (meta 17.1), fomentando de este modo una gobernanza inteligente y cohesionada en los diferentes servicios que integran la administración local.

Marco europeo

La normativa europea en materia de aguas es la **Directiva Marco del Agua (2000/60 / EC)** que estandariza los criterios de evaluación del estudio de las masas de agua en Europa y tiene como objetivo gestionar la demanda del agua, su calidad y su cantidad. Esta directiva pone de manifiesto la necesidad de avanzar hacia una gestión del agua desde una perspectiva holística que vea el agua como un recurso valioso y finito. Es en este sentido donde los SUDS aparecen como una opción para la gestión de la escorrentía y la mejora de la calidad del agua en general.

Otra normativa europea complementaria a la Directiva Marco es la **Directiva de Evaluación y Gestión de los riesgos de Inundación (2007/60/EC)**. Esta directiva busca reducir el riesgo producido por las inundaciones a través de una planificación con usos compatibles en las zonas aluviales, reduciendo la exposición de las ciudades ante estos eventos. Los SUDS vuelven a emerger como una alternativa de gestión que permite reducir los caudales pico en sistemas de drenaje urbano mediante técnicas de laminación, almacenamiento e infiltración.

Otras directivas que tienen sus implicaciones en la gestión del drenaje urbano son la **Directiva de aguas de baño**

(2006/7/CE) o la Directiva de Contaminación de Acuíferos (2006/118/CE); poniendo ambas de manifiesto los impactos que suponen las descargas procedentes de sistemas de drenaje urbano en tiempo de lluvia.

A finales de 2019, la Comisión Europea aprobó el Pacto Verde Europeo, una parte integral de la estrategia para implementar la Agenda 2030 en Europa. El Pacto Verde aborda los desafíos relacionados con el clima y el medio ambiente, mencionando específicamente la necesidad de abordar la contaminación procedente de escorrentías urbanas. Además, al desarrollar normativa específica, el pacto permitirá potenciar la implementación de SbN en Europa de forma transversal, enfrentando también desafíos relacionados con el drenaje urbano, que se convierten de este modo en una de las principales prioridades de las políticas europeas.

3.2. Marco estatal

El marco legal estatal lo constituye en España la Ley de Aguas. Sin embargo, no es objeto de esta ley entrar en los detalles relacionados con el drenaje urbano. Textos legales posteriores que han venido a complementarla o a modificar su reglamento, han ido estableciendo las pautas que hoy en día comienzan a configurar el marco estatal específico en materia de drenaje urbano.

Este marco legal de ámbito estatal se vio alterado drásticamente por la entrada en vigor del Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Este Real Decreto aborda la problemática de los Desbordamientos de Sistemas de Saneamiento (DSS), generalizando la casuística de los Desbordamientos de Sistemas Unitarios (DSU). En concreto, el artículo 259 ter. 1, sobre desbordamientos de sistemas de saneamiento en episodios de lluvia, establece que, en las autorizaciones de vertido de sistemas de saneamiento de zonas urbanas, se tendrán en cuenta los siguientes criterios en relación a desbordamientos en episodios de lluvia:

a) Los proyectos de nuevos desarrollos urbanos deberán justificar la conveniencia de establecer redes de saneamiento separativas o unitarias para aguas residuales y de escorrentía, así como plantear medidas que limiten la aportación de aguas de lluvia a los colectores.

b) En las redes de colectores de aguas residuales urbanas no se admitirá la incorporación de aguas de escorrentía procedentes de zonas exteriores a la aglomeración urbana o de otro tipo de aguas que no sean las propias para las que fueron diseñados, salvo en casos debidamente justificados.

c) En tiempo seco no se admitirán vertidos por los aliviaderos.

d) Los aliviaderos del sistema colector de saneamiento y los de entrada a la depuradora deberán dotarse de los elementos, pertinentes en función de su ubicación, antigüedad y el tamaño del área drenada para reducir la

evacuación al medio receptor de, al menos, sólidos gruesos y flotantes. Estos elementos no deben reducir la capacidad hidráulica de desagüe de los aliviaderos, tanto en su funcionamiento habitual como en caso de fallo.

Este Real Decreto pone de manifiesto la necesidad de desarrollar medidas que limiten la cantidad de agua que llega a los colectores en zonas urbanas. Los SUDS por tanto son una opción a considerar para lograr este objetivo, ya que su instalación puede reducir o laminar los volúmenes de escorrentía en las ciudades.

Más recientemente, el **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, marca un antes y un después en el drenaje urbano al incluir los SUDS como una solución habitual y de obligado cumplimiento en este ámbito:

"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).

De esta manera, a nivel estatal se exige su utilización en obras de nueva construcción, y los SUDS se presentan como un complemento indispensable a las redes de drenaje convencionales. Se apunta, igualmente, a que los procesos de urbanización deben garantizar la invariabilidad hidrológica, es decir, la adopción de medidas que compensen o restituyan los procesos hidrológicos mermados por la transformación urbana.

3.3. Marco autonómico y municipal

En la legislación autonómica y municipal de la Comunitat Valenciana destaca el Decreto 201/2015 por el que se aprueba el **Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación de la Comunitat Valenciana (PATRICOVA)**, que insiste en la reducción de la producción de escorrentía urbana resaltando lo dispuesto en el RD 1290/2012.

Entre los objetivos principales del PATRICOVA está incorporar "*Infraestructura Verde como elemento crucial de la planificación territorial"* y dentro de ella "*se fomentará el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en todos los municipios de la Comunitat Valenciana"* (Art 23.9 y Anexo I.C.2)

Adicionalmente, en la **resolución 997/X de las Cortes Valencianas** estas *"instan al Consell a asegurar 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". También se insta a las entidades locales a promover la incorporación de SUDS en planes, proyectos urbanísticos y obras municipales.

De esta forma, la normativa de la Comunitat Valenciana promueve de forma explícita el uso de SUDS en todo el territorio, a nivel regional y municipal.

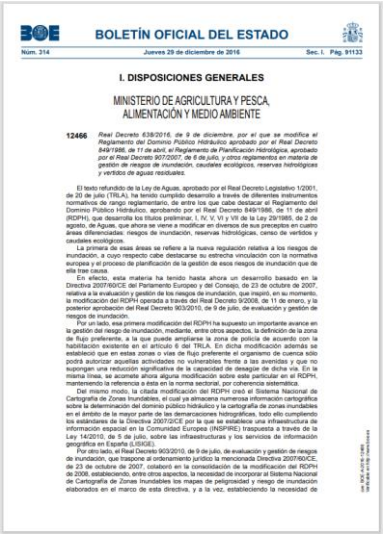
Otro organismo estatal con jurisdicción en la Comunitat Valenciana es la **Confederación Hidrográfica del Júcar**. Para la promoción de la utilización de SUDS se ha modificado el modelo de solicitud de Vertido de aguas pluviales en cauces del DPH (Domino Público Hidráulico); en ella se promueve la introducción de SUDS para laminar las aportaciones de escorrentía urbana asociadas a un periodo de retorno de 15 años sin que varíe el hidrograma natural (previo a la urbanización) del cauce aguas abajo del punto de vertido.

La normativa municipal relativa a saneamiento y drenaje forma parte de la **Ordenanza municipal de Saneamiento de 2016**. En el apartado 2.5 de la Normativa para obras de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de València se establece que *"se fomentará el uso de Sistemas de Drenaje sostenible [...] para la gestión del drenaje de aguas pluviales".*

De forma más específica el segundo párrafo del artículo dictamina que:

"Los nuevos proyectos de urbanización incorporarán, en la medida de lo posible medidas para fomentar la infiltración en las superficies de los aparcamientos, viales, centro de glorietas, medianas ajardinadas, alcorques y jardines. Se propone en ese sentido el uso de soluciones como los pavimentos permeables o el rebaje de bordillos de las aceras en aquellas situaciones en que se pueda redirigir la escorrentía superficial hacia zonas donde se facilite su infiltración (alcorques, zonas verdes, etc.), sin perjuicio del uso de todas aquellas soluciones que se engloban en este conjunto de técnicas".

Esta normativa municipal sigue la tendencia de la legislación europea, estatal y autonómica de promover el uso de los SUDS. En València sienta un precedente y enfatiza la importancia de implementar SUDS y Soluciones basadas en la Naturaleza en la ciudad, haciéndola más saludable, verde y sostenible.


BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO

Núm. 314 Jueves 29 de diciembre de 2016 Sec. I. Pág. 91133

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

12466 *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.*

El texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio (TRLA), ha tenido cumplido desarrollo a través de diferentes instrumentos normativos de rango reglamentario, de entre los que cabe destacar el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril (RDPH), que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, que ahora se viene a modificar en diversos de sus preceptos en cuatro áreas diferenciadas: riesgos de inundación, reservas hidrológicas, canon de vertidos y caudales ecológicos.

La primera de esas áreas se refiere a la nueva regulación relativa a los riesgos de inundación, a cuyo respecto cabe destacarse su estrecha vinculación con la normativa europea y el proceso de planificación de la gestión de esos riesgos de inundación que de ella trae causa.

En efecto, esta materia ha tenido hasta ahora un desarrollo basado en la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, que inspiró, en su momento, la modificación del RDPH operada a través del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, y la posterior aprobación del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.

Por un lado, esa primera modificación del RDPH ha supuesto un importante avance en la gestión del riesgo de inundación, mediante, entre otros aspectos, la definición de la zona de flujo preferente, a la que puede ampliarse la zona de policía de acuerdo con la habilitación existente en el artículo 6 del TRLA. En dicha modificación además se estableció que en estas zonas o vías de flujo preferente el organismo de cuenca sólo podrá autorizar aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía. En la misma línea, se acomete ahora alguna modificación sobre este particular en el RDPH, manteniendo la referencia a ésta en la norma sectorial, por coherencia sistemática.

Del mismo modo, la citada modificación del RDPH creó el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, el cual ya almacena numerosa información cartográfica sobre la determinación del dominio público hidráulico y la cartografía de zonas inundables en el ámbito de la mayor parte de las demarcaciones hidrográficas, todo ello cumpliendo los estándares de la Directiva 2007/2/CE por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (INSPIRE) transpuesta a través de la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (LISIGE).

Por otro lado, el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, que transpone al ordenamiento jurídico la mencionada Directiva 2007/60/CE, de 23 de octubre de 2007, colaboró en la consolidación de la modificación del RDPH de 2008, estableciendo, entre otros aspectos, la necesidad de incorporar al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación elaborados en el marco de esta directiva, y a la vez, estableciendo la necesidad de

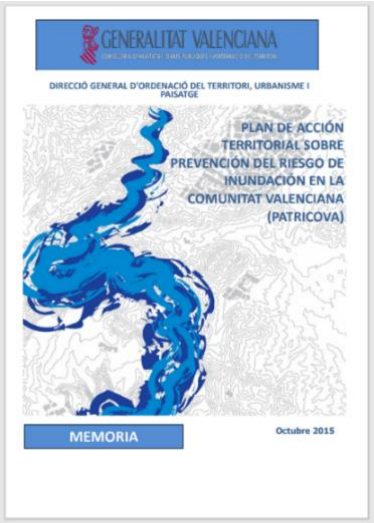


Figura 6. Portadas de documentos legales: Real Decreto 638/2016 y PATRICOVA.

Imagen 10. Zona de biorretención en un polígono industrial en Ribarroja del Turia (Valencia).

4. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

4.1. Funcionamiento de los SUDS

Los SUDS son un conjunto de técnicas que reproducen los procesos hidrológicos naturales, y que complementan al drenaje tradicional para la gestión de las escorrentías. Existen varias formas de clasificar los SUDS, pudiendo hacerse según su función principal, el tipo de actuación, el tipo de sistema empleado o su lugar de aplicación.

Para realizar una primera clasificación según su principio de funcionamiento, es necesario conocer las posibles funciones hidrológicas que pueden realizar los SUDS:

- Filtración: retención de sedimentos presentes en el agua de lluvia mediante procesos físicos, al hacer pasar la escorrentía a través de medios porosos, suelo artificialmente creado o vegetación.
- Detención: almacenamiento temporal de la escorrentía y descarga laminada de esta a la red o punto de vertido, reduciendo de este modo los caudales pico y favoreciendo la sedimentación.
- Tratamiento: se favorecen procesos físicos y biológicos, como la fitorremediación o las colonias bacterianas para metabolizar contaminantes presentes en la escorrentía y mejorar su calidad.
- Retención: almacenamiento a medio plazo de la escorrentía para usos no potables o recreativos.
- Infiltración: se favorece el flujo vertical y la recarga de acuíferos, permitiendo que la escorrentía fluya a través del subsuelo.

Es habitual que los SUDS no cumplan una única función, sino que, por sus características, puedan realizar dos o más. Incluso, variaciones en la configuración del sistema pueden hacer que una técnica SUDS se comporte de un modo u otro.

La siguiente tabla muestras los principales tipos de SUDS, destacando su función principal (P) y secundaria (S) más habitual:

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

Tabla 1. Funciones principal (P) y secundaria (S) de cada tipo de SUDS.

Además de clasificarlos según su funcionalidad, es habitual dividir a los SUDS en dos grupos atendiendo a la tipología de actuación a realizar:

Medidas estructurales

Las medidas estructurales son aquellas que precisan de algún elemento constructivo para gestionar el agua de lluvia, prevenir su contaminación y/o reducir la generación de escorrentía. Entre ellas se encuentran: los pavimentos permeables, los alcorques estructurales o las cubiertas vegetadas.

Medidas no estructurales

Son aquellas medidas que, sin precisar de una intervención física concreta sobre el sistema de drenaje, permiten una mejora en la gestión de las aguas de lluvia y una optimización de las infraestructuras existentes. Estas medidas incluyen actuaciones educativas, legislativas, de planificación y de gestión. Sus objetivos principales son optimizar el aprovechamiento de los sistemas de drenaje existentes, concienciar a la ciudadanía acerca de la importancia del drenaje urbano y favorecer el diseño adecuado de las futuras infraestructuras.

Imagen 11. Pavimentos permeables y zona de biorretención en Sevilla. Fuente: EMASESA.

4.2. Principales tipos de SUDS

En este epígrafe se presentan de forma resumida los tipos de SUDS estructurales, incluyendo una breve descripción junto con un esquema explicativo. Esta información se complementa con la incluida en el **Anejo: Fichas SUDS** que incluye información sobre el funcionamiento, diseño y mantenimiento en mayor profundidad. La información se organiza en fichas como la de la Figura 7 que se muestra a continuación:

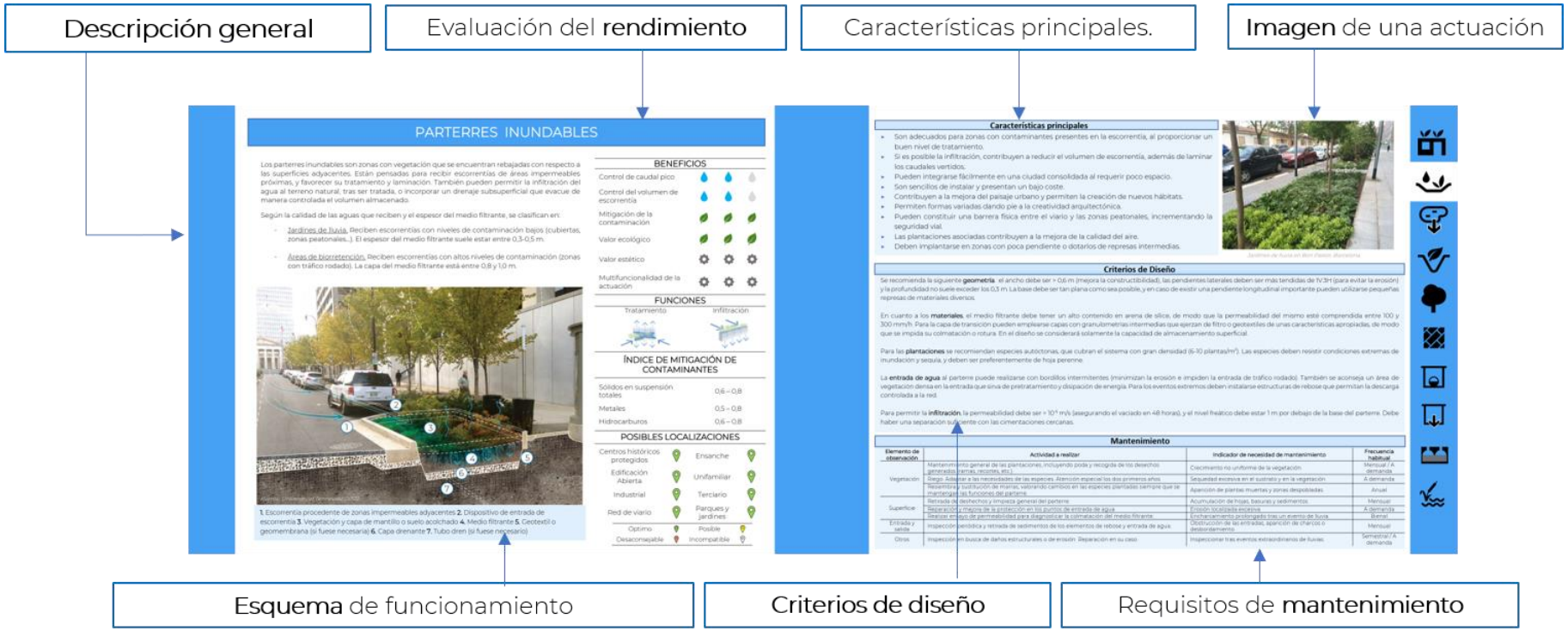


Figura 7. Información contenida en las fichas de SUDS del Anejo: Fichas SUDS.

Cubiertas vegetadas

Están formadas por un conjunto de capas que permiten la creación de un paquete vegetado sobre el tejado. Esta vegetación es el punto de contacto de la lluvia con el edificio, y posibilita su filtrado y retención en la capa de sustrato. Además, la escorrentía es almacenada temporalmente en la capa de drenaje, desde donde servirá de riego pasivo. Se clasifican en:

- Cubiertas vegetadas extensivas: son un tapiz de bajo espesor (entre 3 y 20 cm) que permiten el crecimiento de vegetación herbácea o plantas crasas tipo sédum.
- Cubiertas vegetadas intensivas: presentan un sustrato de mayor espesor y permiten implantar arbustos e incluso árboles.

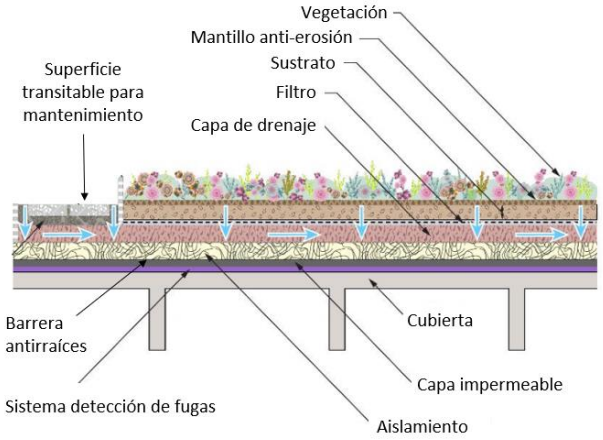


Figura 8. Esquema de una cubierta vegetada. Fuente: Adaptado de New Jersey Department of Environmental Protection Division of Watershed Management (2021).

Parterres inundables

Son áreas deprimidas y ajardinadas que permiten almacenar la escorrentía procedente de superficies impermeables adyacentes. Los parterres inundables se pueden clasificar según la procedencia de las lluvias que gestionan:

- Jardines de lluvia: gestionan escorrentías poco contaminadas, procedentes de zonas peatonales o cubiertas.
- Áreas de biorretención: reciben escorrentías contaminadas, procedentes de zonas con tráfico rodado, que requieren un alto nivel de tratamiento.

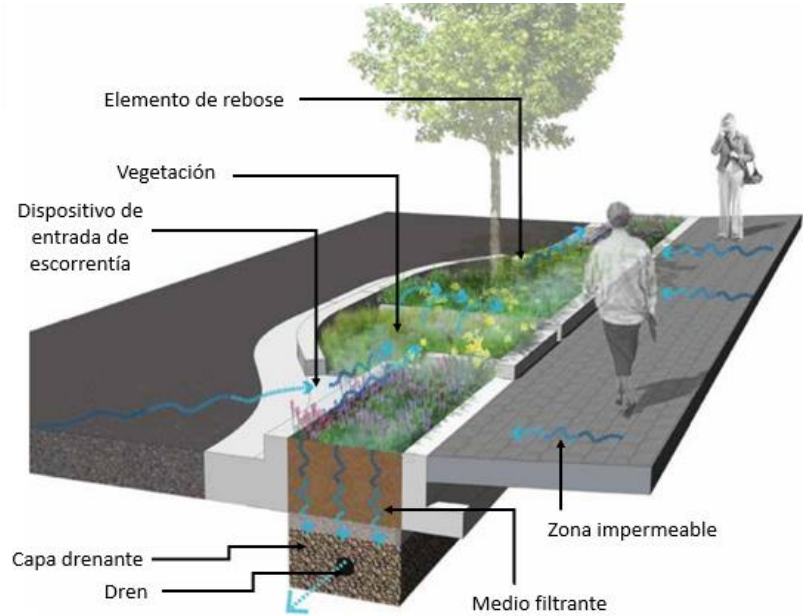


Figura 9. Esquema de un parterre inundable. Fuente: Adaptado de Washington DC Department of Transportation (2014).

Balsas de detención y/o infiltración

Son depresiones que, durante un evento de lluvia, almacenan temporalmente escorrentía evacuándola de forma controlada por un desagüe y/o a través de la infiltración. Además, la detención de las escorrentías facilita la deposición de los sedimentos arrastrados.

Debe asegurarse que la balsa esté vacía en 48 horas para que pueda gestionar un segundo evento.

Son áreas que se mantienen secas durante gran parte del año, ya que no tienen aguas permanentes, lo que posibilita que puedan albergar usos alternativos durante los periodos secos.

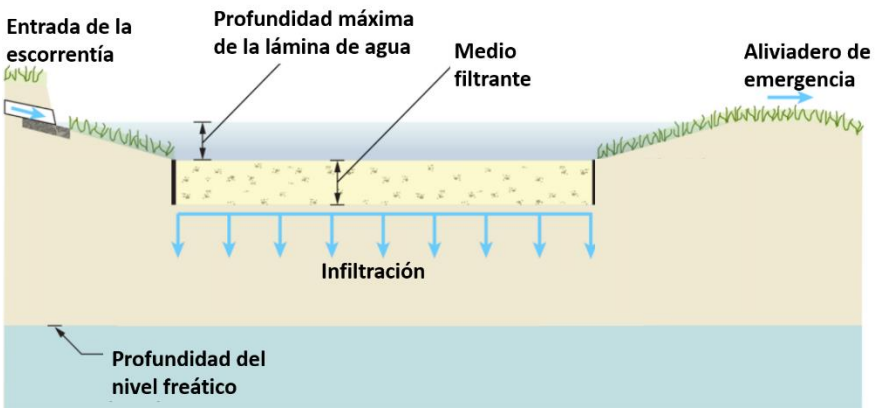


Figura 10. Esquema de una balsa de infiltración. Fuente: Adaptado de New Jersey Department of Environmental Protection Division of Watershed Management (2021).

Cunetas vegetadas

Son canales anchos, de poca profundidad, y cubiertos de vegetación que reciben escorrentías procedentes de zonas impermeables adyacentes. Además de permitir el transporte de estas escorrentías, la vegetación favorece la eliminación de contaminantes a través de la sedimentación y la filtración. También pueden permitir la infiltración al terreno si ello resulta aconsejable.

Suelen emplearse en viales, caminos y otras superficies alargadas, ya que la escorrentía entra lateralmente en las mismas. Generalmente son de sección trapezoidal o parabólica. En ocasiones, cuando la pendiente es pronunciada, pueden incluirse represas que optimicen el almacenamiento temporal y favorezcan la infiltración.

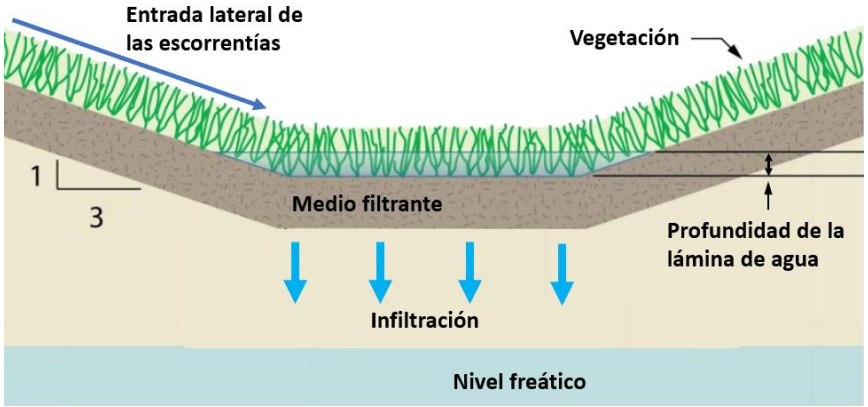


Figura 11. Esquema de una cuneta vegetada. Fuente: Adaptado de New Jersey Department of Environmental Protection Division of Watershed Management (2021).

Alcorques estructurales

Los alcorques estructurales están formados por un suelo estructurado que sirve de almacenamiento temporal de las escorrentías, y como espacio para el crecimiento de las raíces del árbol. Este suelo presenta capacidad portante lo que permite el tráfico sobre el mismo. Parte de la escorrentía recibida queda retenida en el estrato vegetal, pudiéndose permitir también la infiltración del agua excedente al subsuelo. La capacidad portante del suelo estructural puede conseguirse mediante material granular que se mezcla con el sustrato, o mediante una estructura de geoceldas de polipropileno rellenas con el propio sustrato.

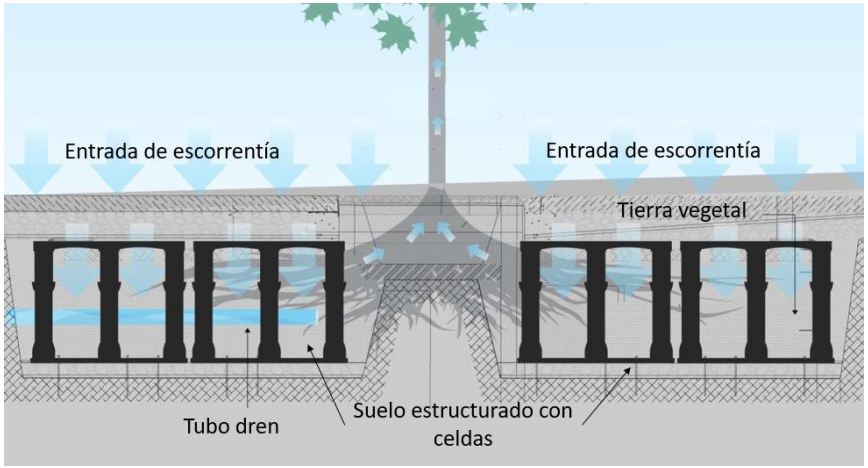


Figura 12. Esquema de un alcorque estructural. Fuente: Adaptado de The North Carolina Department of Environmental Quality (NCDEQ) (2020).

Pavimentos permeables

Son sistemas de pavimentación que permiten la filtración de la escorrentía a través de ellos, hacia capas subsuperficiales. De este modo, el agua puede almacenarse temporalmente en la subbase (mediante gravas o geoceldas), pudiendo infiltrarse al terreno o descargarse controladamente hacia aguas abajo. Existen dos tipologías principales, atendiendo al tipo de superficie permeable:

- Pavimentos porosos: formados por una superficie cubierta por un material poroso (hormigón, asfalto, gravas reforzadas...)
- Pavimentos permeables por junta: compuestos por unidades de materiales impermeables, cuya geometría y/o colocación facilita el paso del agua a través de las juntas.

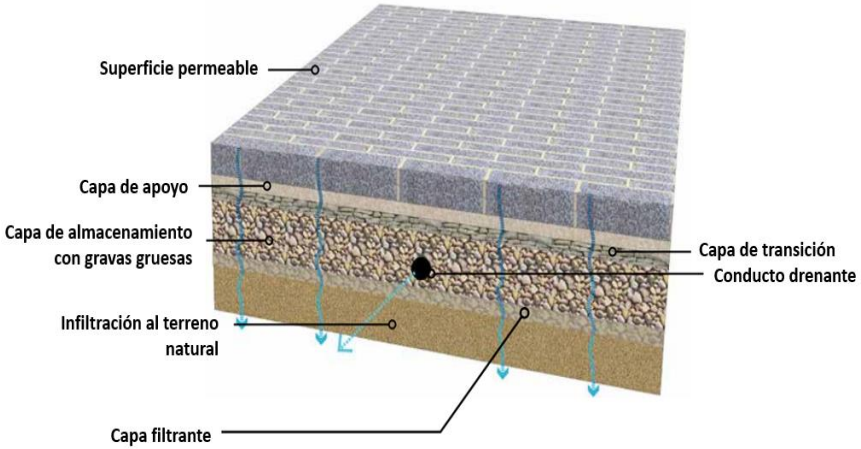


Figura 13. Esquema de un pavimento permeable. Fuente: Adaptado de Washington DC Department of Transportation (2014).

Drenes filtrantes

Consisten en zanjas de poca profundidad rellenas de un material filtrante con un dren perforado en la capa inferior. La escorrentía suele llegar a la zanja por los laterales, y en ella se filtra y almacena temporalmente, laminando de este modo los caudales pico.

Como material de relleno suelen emplearse gravas o cajas reticulares de polipropileno. Además, es recomendable incluir un geotextil superficial independiente a poca profundidad que retenga los sedimentos y facilite su mantenimiento.

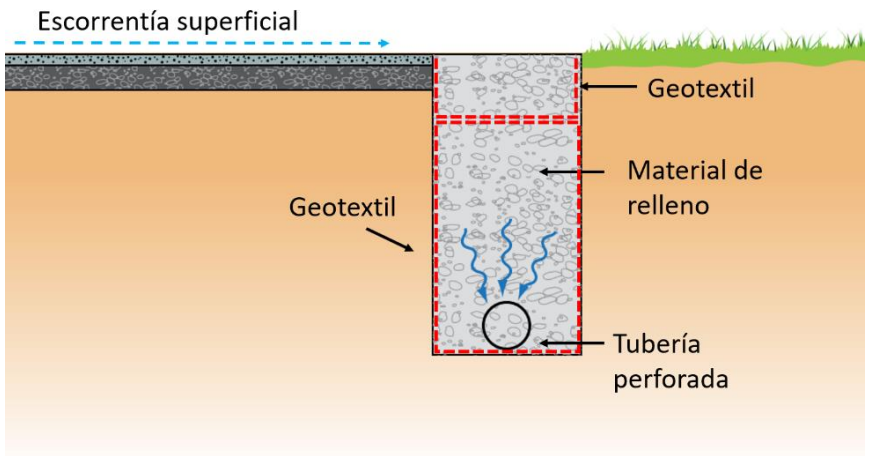


Figura 14. Esquema de un dren filtrante. Fuente: Adaptado de NHBC Foundation (2010).

Zanjas y pozos de infiltración

Consisten en excavaciones en el terreno que se rellenan de materiales con un alto porcentaje de huecos, ya sean granulares o sintéticos. Este volumen subsuperficial sirve de almacenamiento temporal previo a la infiltración de las escorrentías. Atendiendo a la forma pueden clasificarse en:

- Zanjas: son excavaciones lineales y poco profundas, que pueden ser recubiertas de vegetación o gravas.
- Pozos: son perforaciones verticales de mayor profundidad. Las paredes pueden ir revestidas (mediante anillos de hormigón) o sin revestir.

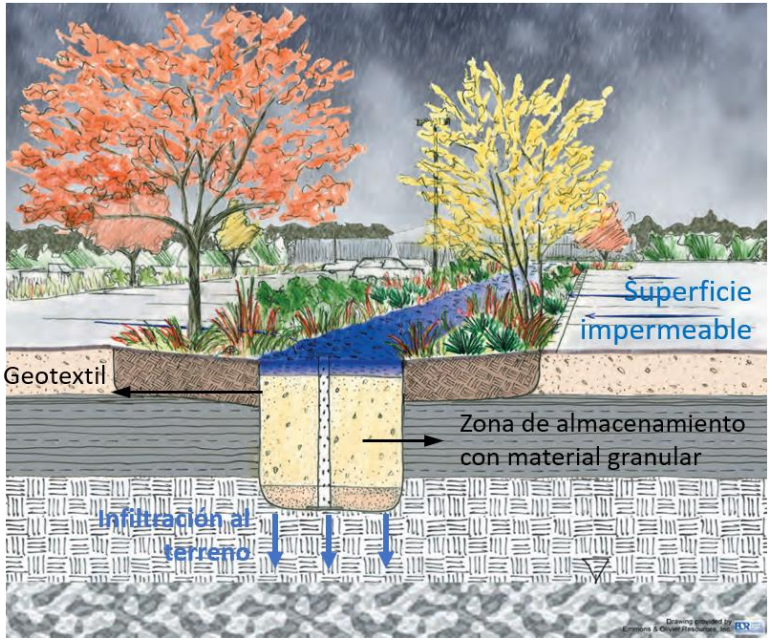


Figura 15. Esquema de una zanja de infiltración. Fuente: Adaptado de Rice Creek Watershed District (2020).

Depósitos reticulares

Son estructuras subterráneas modulares, con un alto índice de huecos y una buena capacidad portante. Permiten el almacenamiento de la escorrentía generada por las superficies impermeables adyacentes para su posterior laminación, reutilización o infiltración. No proporcionan tratamiento a las escorrentías por sí mismos, por lo que suelen ir acompañados de elementos auxiliares de tratamiento y regulación.

La entrada de la escorrentía se produce por filtrado desde la superficie o mediante una tubería tras haber realizado un tratamiento previo. Es recomendable incluir un segundo tubo que actúe como elemento de rebose.

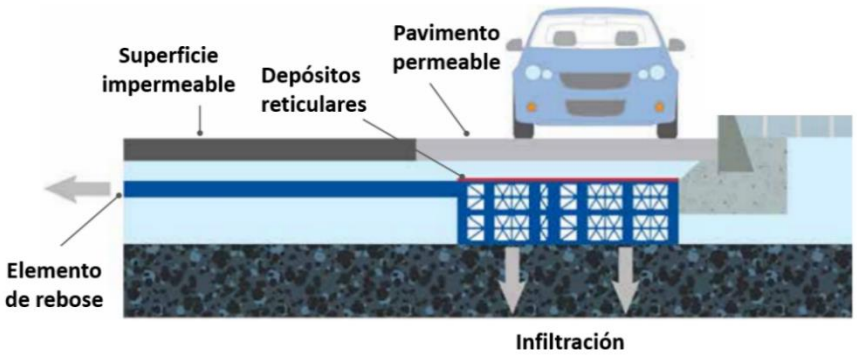


Figura 16. Esquema de un depósito reticular. Fuente: Adaptado de Polypipe (2016).

Humedales artificiales y estanques

Son lagunas artificiales que, a través de fitorremediación mediante plantas hidrófilas, permiten la mejora de la calidad de las aguas. Presentan una lámina de agua permanente, que varía al recibir aportaciones de zonas impermeables, proporcionando un volumen de laminación. También cuentan con estructuras de rebose que permiten la evacuación controlada de las aguas si se excede su nivel de servicio. En general, son medidas que permiten la gestión de grandes volúmenes de escorrentía, que pueden proceder de distintos puntos de la cuenca.

Los humedales son más someros y se utilizan generalmente para la mejora de la calidad de las aguas. Por otro lado, los estanques presentan profundidades mayores y suelen emplearse para controlar grandes volúmenes de escorrentía.

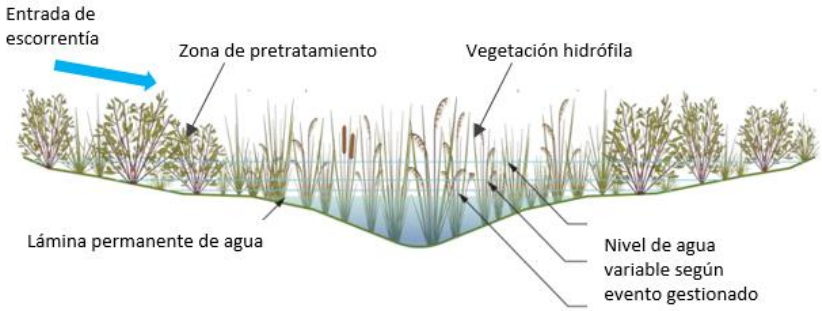


Figura 17. Esquema de un humedal artificial. Fuente: Adaptado de New Jersey Department of Environmental Protection Division of Watershed Management (2021).

Otros elementos auxiliares

Además de los SUDS propiamente dichos, son necesarios otros elementos reguladores que ayuden a su correcto funcionamiento.

Elementos de entrada de escorrentía

Son dispositivos encargados de permitir que la escorrentía pueda entrar en los SUDS. Se incluyen: bordillos elevados intermitentes, rebaje de bordillos, canaletas y sumideros. Estos dispositivos maximizan el potencial de los SUDS, proporcionando una conectividad hidráulica entre los SUDS y las áreas impermeables adyacentes.

Imagen 12. Elemento de entrada a un jardín de lluvia en Sevilla. Fuente: EMASESA.

Elementos de rebose controlado y vertido

Son elementos que favorecen el vertido y el rebose controlado de caudales entre distintos elementos de gestión de la escorrentía o cadenas de SUDS. Entre ellos destacan los aliviaderos y las válvulas de vórtice.

Imagen 13. Aliviadero de rebose controlado en Barcelona. Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo.

Dispositivos compactos de tratamiento

Son dispositivos compactos que permiten la eliminación de contaminantes de forma eficiente. Destacan los separadores hidrodinámicos o los filtros compactos.

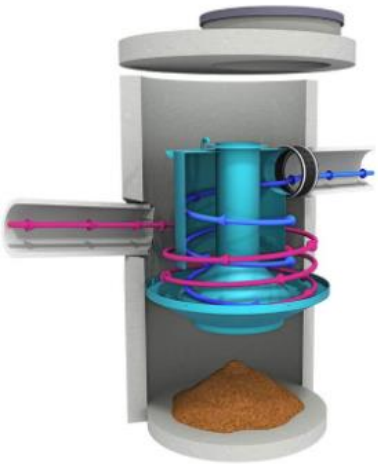


Figura 18. Esquema de funcionamiento de un separador hidrodinámico. Fuente: Hydro International.

Monitorización del sistema

Estos elementos permiten evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos de calidad y cantidad de la escorrentía. Para mediciones de caudales pueden instalarse arquetas con vertederos triangulares y sondas de presión hidrostática, mientras que para mediciones relacionadas con la calidad se instalan toma-muestras automáticos.

4.3. Otras medidas no estructurales

Además de las intervenciones constructivas, existen otros tipos de medidas que contribuyen a la mejora del funcionamiento global de las redes de saneamiento y a adoptar un enfoque más sostenible. Estas medidas van desde la concienciación ciudadana a la adecuada reglamentación.

Medidas educativas

Los programas educativos para la mejora de la gestión de las escorrentías urbanas pueden ser muy variados y complementarios, estando dirigidos tanto a alumnos como a la población en general.

Actividades educativas en formación reglada

Incluyen todas aquellas actividades dirigidas a alumnos de colegios, institutos o universidades. La organización de este tipo de actividades, además de otras charlas y sesiones informativas, permite la concienciación a la ciudadanía de actividades perjudiciales como tirar papeles y latas al suelo, así como aumentar la demanda social de esta gestión sostenible de las escorrentías.

Imagen 14. Visita escolar a una cubierta vegetada en Benaguasil (Valencia).

Formación específica a profesionales

Programas formativos o guías dirigidas a profesionales del sector a través de universidades u otras instituciones sobre alternativas al drenaje tradicional y buenas prácticas que refuercen los contenidos teóricos de los cursos.

Paneles explicativos y señalización

Información presentada en las actuaciones estructurales que permita reconocerlas e instruir a la ciudadanía acerca de su importancia, de modo que se mejore la percepción tras su implementación.

Imagen 15. Panel explicativo sobre el funcionamiento de una cubierta vegetada.

Figura 19. Campaña de concienciación ciudadana en València.

Planificación urbana

Es imprescindible abordar el drenaje desde un punto de vista global en la ciudad, de forma que los planes urbanísticos de las zonas urbanizadas y por urbanizar cuenten con estrategias que permitan gestionar in situ las escorrentías que generan, reduciendo el impacto del

proceso de urbanización sobre el Ciclo Integral del Agua. Para ello es clave la colaboración entre instituciones y entidades municipales.

Diseño adecuado

La localización y distribución adecuada de las medidas de SUDS estructurales, estudiadas desde un punto de vista holístico de la ciudad, pueden reducir los costes futuros asociados a obras en redes de drenaje, estaciones de bombeo o depuradoras.

Imagen 16. Estructura de rebose en el Parc Central de València.

Prácticas de mantenimiento y prevención

Las adecuadas rutinas de mantenimiento en los SUDS son claves para garantizar el buen funcionamiento a largo plazo. Estas labores incluyen el cuidado de la vegetación (riego, poda...), la limpieza de rebosaderos, las inspecciones periódicas, las reparaciones ocasionales...

Así mismo, las labores de limpieza y gestión de residuos en las calles son claves para la mejora de la calidad de la escorrentía urbana y reducen el arrastre de sedimentos que puedan ocasionar bloqueos en las redes.

Imagen 17. Rutina de limpieza preventiva de imbornales.

Política económica y normativa

Para la implantación de SUDS a gran escala es importante la promoción de este tipo de soluciones a través de la subvención de acciones formativas para el personal municipal, introducción de ventajas en la tarificación de gastos de agua a usuarios que implementen medidas de reducción de escorrentía en sus propiedades u otras medidas similares. También es importante el desarrollo de un marco legal y de recomendaciones; un buen ejemplo es la elaboración de esta guía.

4.4. La importancia del mantenimiento

Como en cualquier infraestructura, el mantenimiento juega un papel muy importante en el correcto funcionamiento de los SUDS. Las labores de mantenimiento pueden dividirse en tres grupos:

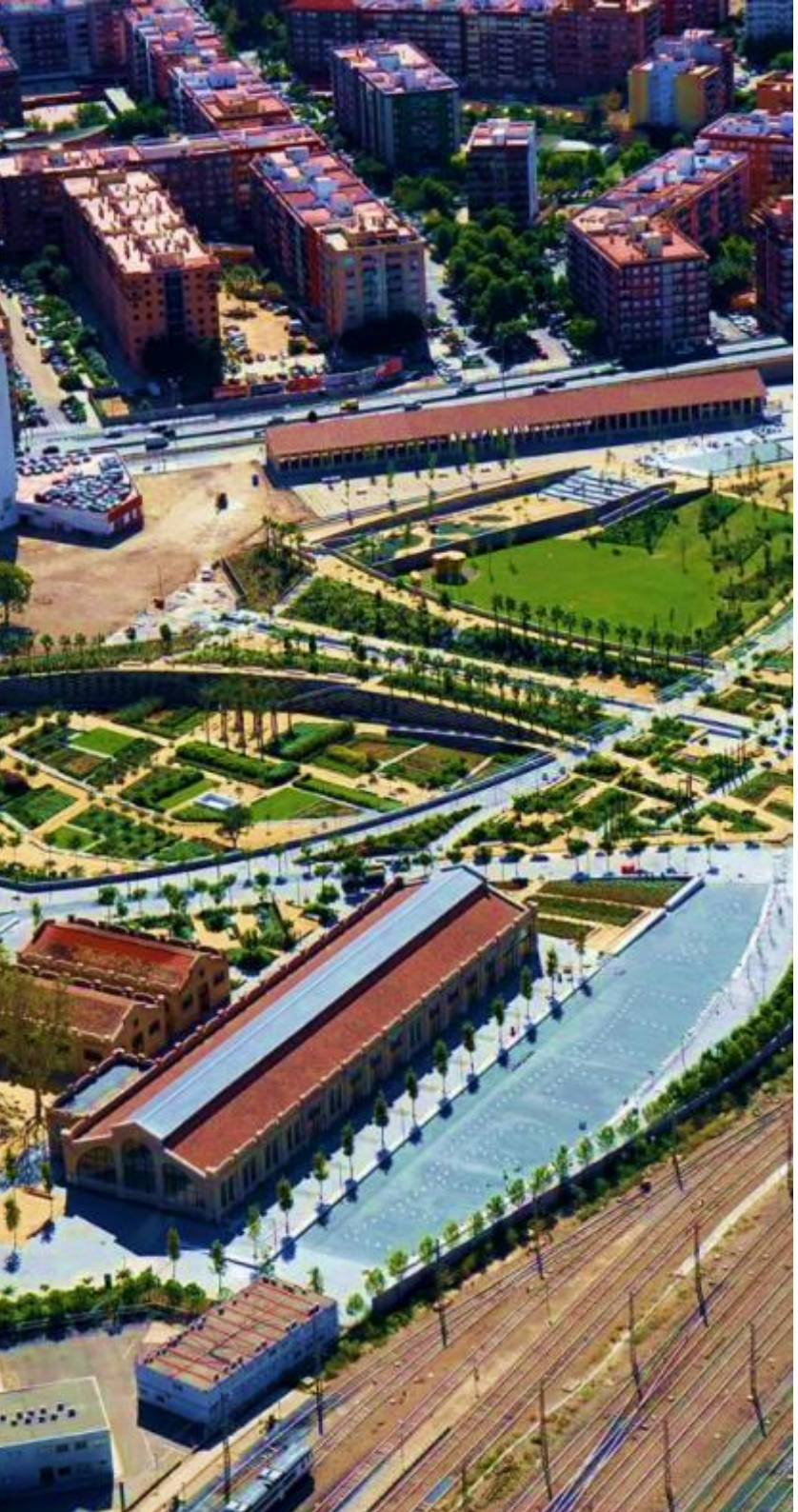
- Mantenimiento regular. Está formado por aquellas labores menores de inspección y operación que deben realizarse con una frecuencia determinada. Esto puede incluir la inspección visual de los elementos de rebose, la poda o la recogida de residuos que puedan haber llegado al SUDS.

- Mantenimiento ocasional. Son trabajos que, aunque son previsibles, no tienen una periodicidad concreta. Pueden incluir la gestión de sedimentos o la reposición de parte de la vegetación.

- Mantenimiento de remediación. Son trabajos de mayor relevancia que pueden ser necesarios cuando se causa algún desperfecto, por ejemplo, por vandalismo, acceso de tráfico rodado o un mal uso de la infraestructura.

Para asegurar la eficiencia en la operación de los SUDS y minimizar los costes en reparaciones, es imprescindible tener una política activa de mantenimiento, que esté enfocada en revisar con frecuencia las infraestructuras, y permita identificar problemas antes de que su reparación sea más compleja.

Imagen 18. Tareas de mantenimiento de una zona vegetada.



5. Los SUDS en València

Aunque los SUDS son una técnica relativamente reciente, la ciudad de València ya cuenta con varias experiencias implantadas durante la última década. Estas actuaciones son, por lo general, una buena muestra de que es posible gestionar las escorrentías urbanas de un modo más natural.

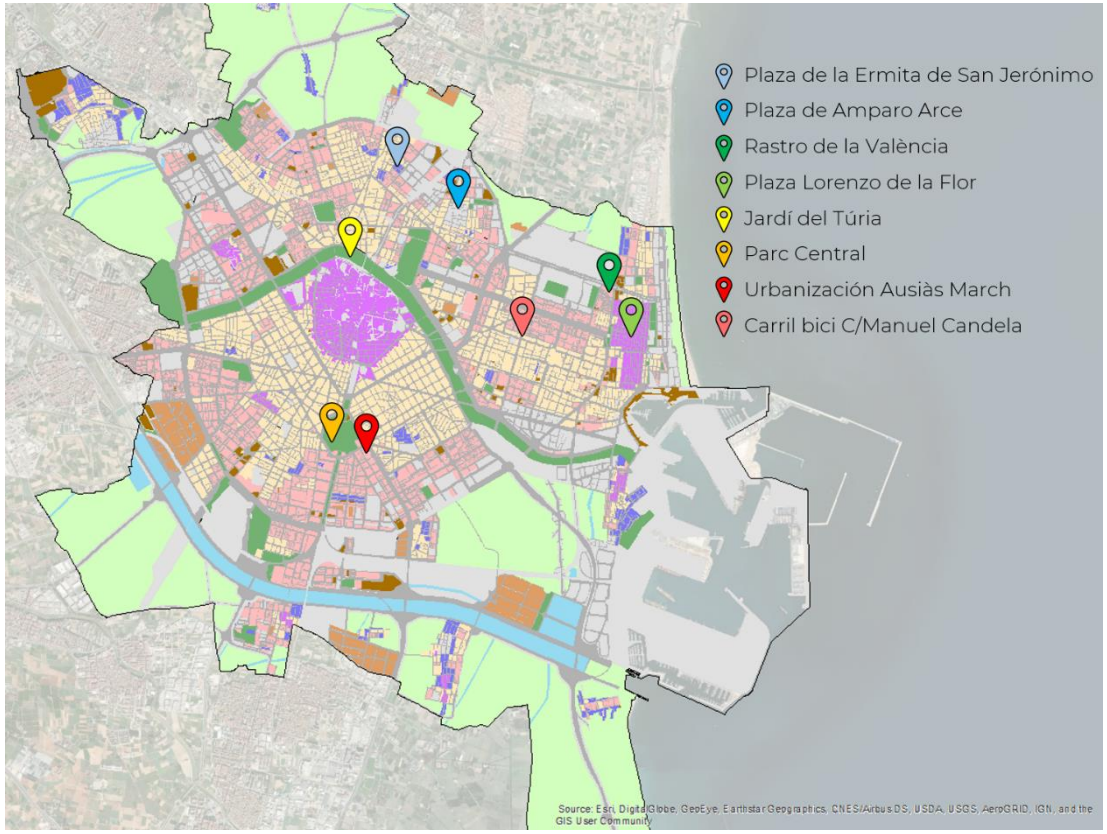


Figura 20. Ubicación de las principales actuaciones con SUDS en la ciudad de València.

El Parc Central constituye una obra emblemática en València, consistente en la creación de un gran parque en las tierras anteriormente ocupadas por la playa de vías de acceso a la Estación del Norte. El soterramiento de las vías permitirá la creación de un parque de 230.000 m^2 al concluirse todas sus fases. La fase 1ª, ya ejecutada, cuenta con una superficie verde de 83.000 m^2.

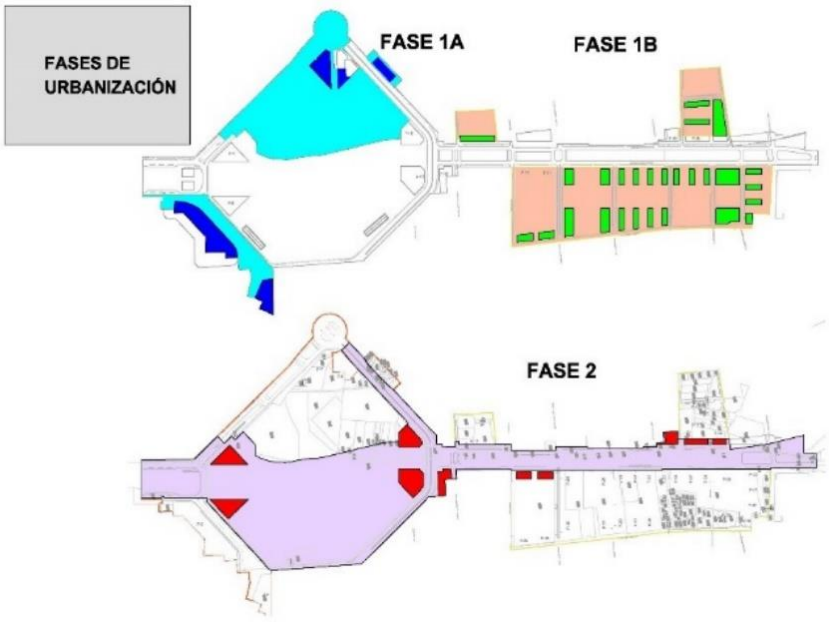


Figura 21. Fases de urbanización del proyecto del Parc Central de València.

Esta actuación cuenta con Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, concretamente cinco cuencos de infiltración de distintas capacidades (desde 323 m^3 a 54 m^3) distribuidos por el parque. Estos cuencos incluyen depósitos subterráneos que permiten almacenar temporalmente la escorrentía, permitiendo su infiltración.

Estos depósitos están formados por celdas reticulares de polipropileno, que se instalan apiladas formando un gran espacio de almacenamiento gracias a su alto índice de huecos. La siguiente imagen muestra el proceso de instalación de estos depósitos reticulares:

Imagen 19. Montaje de un depósito reticular sobre el geotextil.

Los depósitos están conectados mediante pozos a los estratos más permeables, de modo que se favorezca la

infiltración de la escorrentía acumulada en ellos y se recargue el acuífero.

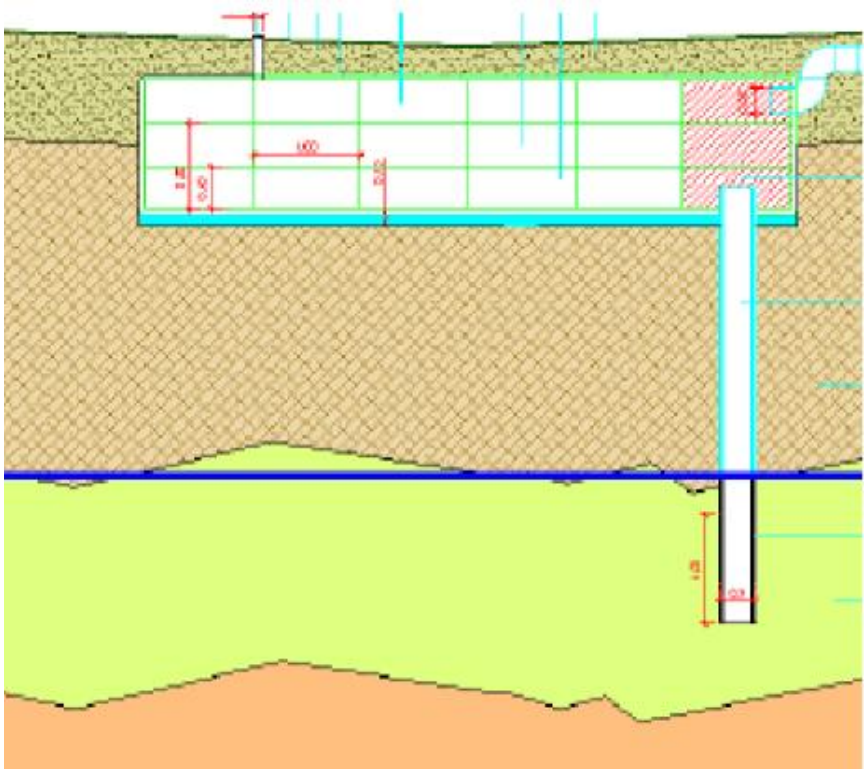


Figura 22. Esquema de funcionamiento de los depósitos reticulares y los pozos de infiltración.

Los cuencos donde se ubican los depósitos de infiltración son alimentados mediante 5.300 m de drenes filtrantes que recogen, filtran y transportan las escorrentías generadas en el parque. Además, 28 pozos de infiltración adicionales conectan el depósito con un estrato más permeable.

Los drenes distribuidos a lo largo del parque permiten la entrada de agua a los depósitos reticulares de forma uniforme, además de llevar a cabo un pretratamiento de la escorrentía.

Imagen 20. Construcción de drenes filtrantes en el Parc Central.

La incorporación de estas actuaciones permite tratar la escorrentía del parque reduciendo su cantidad y mejorando su calidad, reduciendo además la presión sobre el sistema de drenaje convencional.

5.2. Nuevo rastro de València

El rastro de València en su nueva ubicación (Avenida Tarongers con la calle Luis Peixó) cuenta con 12.000 m² de los cuales aproximadamente 6.000 m² están pavimentados con baldosas de hormigón posoroso. Estas baldosas cubren la mayor parte de las zonas de puestos y se alternan con otros tipos de pavimentos en las zonas con tráfico rodado. En conjunto permiten reducir la escorrentía generada y favorecer su gestión en orígen.

Imagen 21. Baldosas permeables en el nuevo rastro de València.

Bajo las baldosas de hormigón poroso se ha incluido un relleno de zahorras drenantes que permite el paso de las escorrentía y contribuye a su filtrado, antes de llegar a un tubo dren perforado que transporta la escorrentía a la red de drenaje convencional.

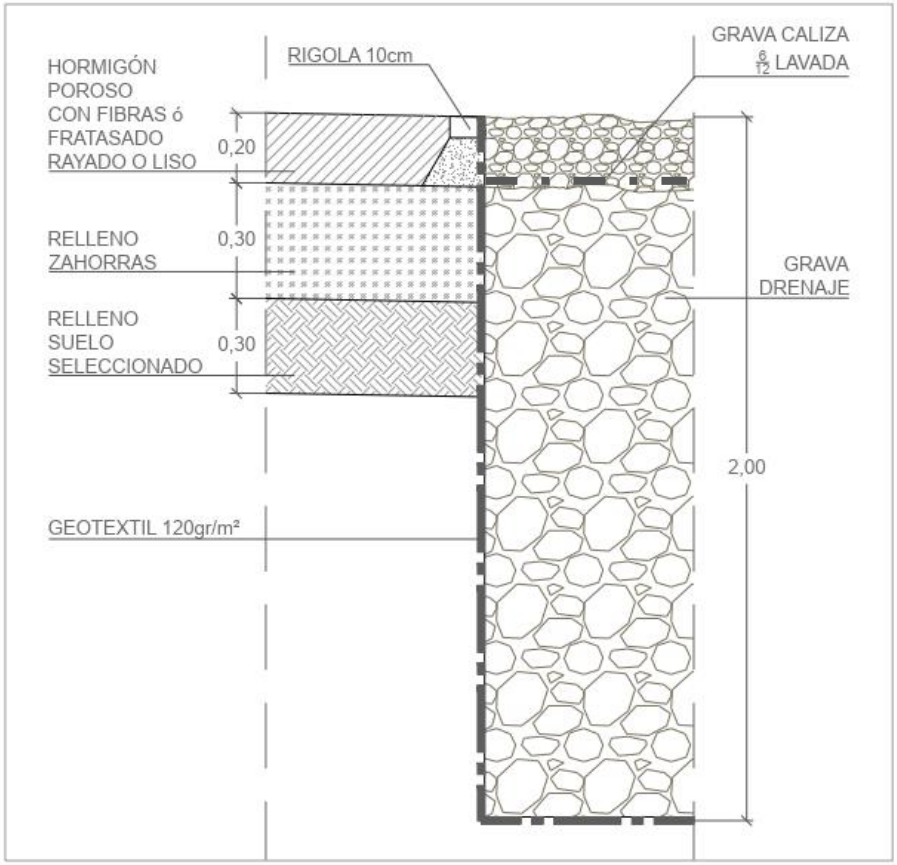


Figura 23. Sección constructiva de las zanjas de drenaje perimetral.

Además, el drenaje de las plazas centrales también se ha realizado mediante SUDS distribuidos perimetralmente. Este drenaje se compone de zanjas de infiltración rellenas de gravas que permiten el tratamiento de la escorrentía y su posterior infiltración.

La siguiente figura muestra un corte transversal del rastro donde se observan las zonas de puestos y de circulación, con las zanjas de drenaje perimetrales.

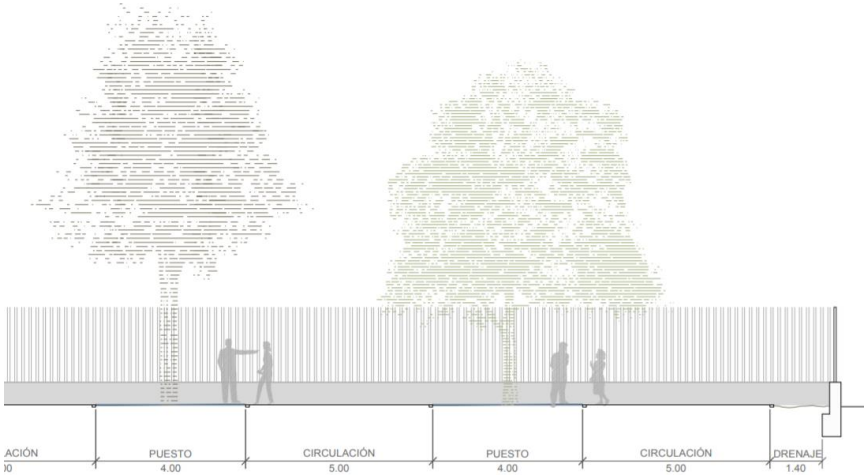


Figura 24. Corte transversal del nuevo rastro. Se observan las zonas de puestos, circulación y drenaje perimetral (derecha).

La incorporación de SUDS en este emplazamiento permite replicar el drenaje natural de la zona, favoreciendo la infiltración al subsuelo de la escorrentía y reduciendo su vertido a la red de colectores.

El Nuevo Rastro constituye sin duda un buen ejemplo de cómo aplicar SUDS en actuaciones mayoritariamente pavimentadas.

Figura 25. Plano en planta del nuevo rastro. Se destaca en gris oscuro las zonas con baldosas permeables y en rojo las zanjas de infiltración.

Imagen 22. Baldosas permeables en la zona de puestos.

5.3. Jardí del Túria

El Jardí del Túria es el parque urbano situado en el antiguo lecho del río Turia, y cuenta con más de 110 ha de zonas verdes y una longitud superior a los 10 km.

Las sucesivas actuaciones de remodelación en este parque están empezando a introducir Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Como parte de los trabajos llevados a cabo en la remodelación del tramo VIa, se han eliminado los imbornales de los que disponía este tramo, y que conectaban con el colector unitario "Colector Norte Cauce", sustituyéndolos por cunetas drenantes.

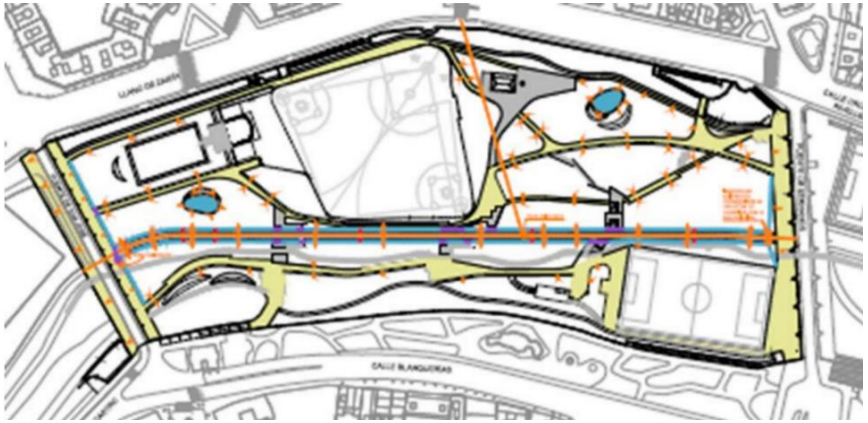


Figura 26. Esquema del tramo VIa remodelado.

Estas cunetas drenantes, ejecutadas a ambos lados de la zona de paso, están formadas por un paquete de gravas envuelto en geotextil instalado bajo el perfil de la cuneta.

Además, se han incluido elementos de rebose conectados al colector.

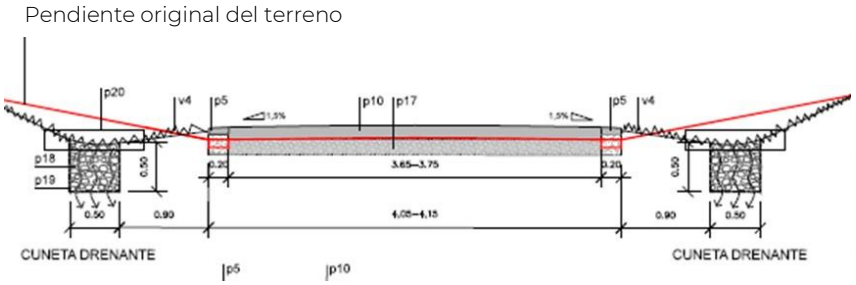


Figura 27. Esquema transversal del tramo remodelado con cunetas drenantes.

Imagen 23. Situación actual del tramo con cunetas drenantes a ambos lados de la zona de paso.

La monitorización ha revelado que no se ha registrado rebose al colector desde la instalación, lo que pone de manifiesto el éxito de la actuación, al llevar a cabo la completa infiltración de la escorrentía procedente de la cuenca drenada por las cunetas.

Imagen 24. Cunetas drenantes del Jardí del Túria tras un evento de lluvia.

5.4. Urbanización en Ausiàs March

Las nuevas edificaciones y las obras de urbanización asociadas también proporcionan una buena oportunidad para implementar técnicas de drenaje sostenible.

El proyecto de drenaje de la urbanización interior de la manzana definida por las avenidas Ausiàs March y Peris y Valero, y las calles Juan Ramón Jiménez y Pianista Amparo Iturbi, cuenta con jardines de lluvia capaces de gestionar en origen las escorrentías generadas.

Imagen 25. Jardines de lluvia en la urbanización interior de nuevos edificios en la avenida Ausiàs March en tiempo seco.

El diseño de la urbanización interior se ha realizado de modo que las zonas impermeables (acerado y zonas peatonales) drenen hacia las zonas permeables, que se corresponden con las zonas verdes ajardinadas, en las que se han ubicado jardines de lluvia. Estos jardines se encuentran deprimidos con respecto a las aceras de forma que se facilita la entrada de agua de lluvia y se garantiza su almacenamiento temporal.

Imagen 26. Jardines de lluvia en la urbanización interior de nuevos edificios en la avenida Ausiàs March durante un evento de lluvia.

Los jardines de lluvia presentan una profundidad de unos 0,30 m, y están conectados entre sí mediante zanjas de infiltración. Además, existe una línea principal de drenaje formada por un tubo ranurado en la parte superior de la zanja que actúa de aliviadero, y permite que las escorrentías por debajo de su cota se infiltren en el terreno. A esta línea principal se le unen ramales que interconectan los distintos parterres inundables.

La incorporación de las zanjas de infiltración permite una oportunidad adicional de reducir el volumen de escorrentía, facilitando además el riego pasivo del jardín. Las zanjas, además, facilitan la evacuación del agua de los viales perimetrales y las plazas interiores a la red de drenaje convencional en el caso en el que la infiltración completa no sea posible.

Imagen 27. Panorámica de la actuación con jardines de lluvia en Ausiàs March.

La implantación de esta infraestructura posibilita la gestión de las lluvias en origen para un periodo de retorno de 25 años, reduciendo en un 50 % los caudales pico vertidos a la red de colectores municipal.

5.5. Plaza de la Ermita de San Jerónimo

El ajardinamiento de la plaza de la Ermita de San Jerónimo en Orriols, es el resultado de un proceso participativo denominado #SembraOrriols que permitió el desarrollo de un espacio diseñado en colaboración con los ciudadanos.

Imagen 28. Plaza de la Ermita de San Jerónimo en Orriols.

Para el drenaje de la plaza se propuso incluir Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, de modo que se modificase en la menor medida posible la hidrología local.

En el proyecto se incluyeron pavimentos y superficies permeables de tres tipos: adoquines permeables en las zonas de alcorques; arena morterenca que cubre gran parte de la zona central de la plaza y tierra vegetal que se ubica en todas las zonas vegetadas. La distribución de los distintos tipos de pavimento se puede ver en la Figura 29.

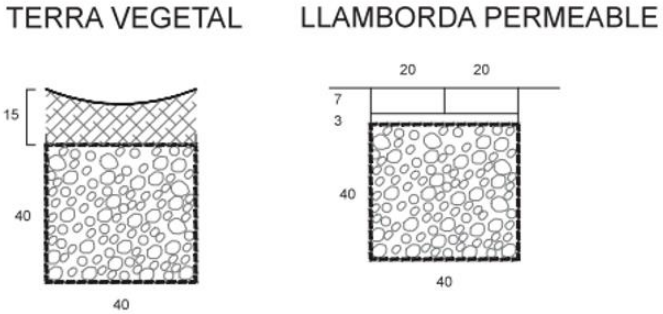


Figura 28. Tipos de pavimentos permeables incorporados en la plaza de la Ermita de San Jerónimo.

Para la gestión de las escorrentías procedentes de las zonas impermeables se diseñaron una serie de balsas que permiten la laminación e infiltración de las escorrentías generadas, de forma que se evite el encharcamiento de las zonas de paso.

Estas balsas se ubican en las zonas con pavimento cubierto de arena silícea que, además de permitir la infiltración de las escorrentías al terreno, aporta cierta filtración que mejore la calidad de las aguas infiltradas.

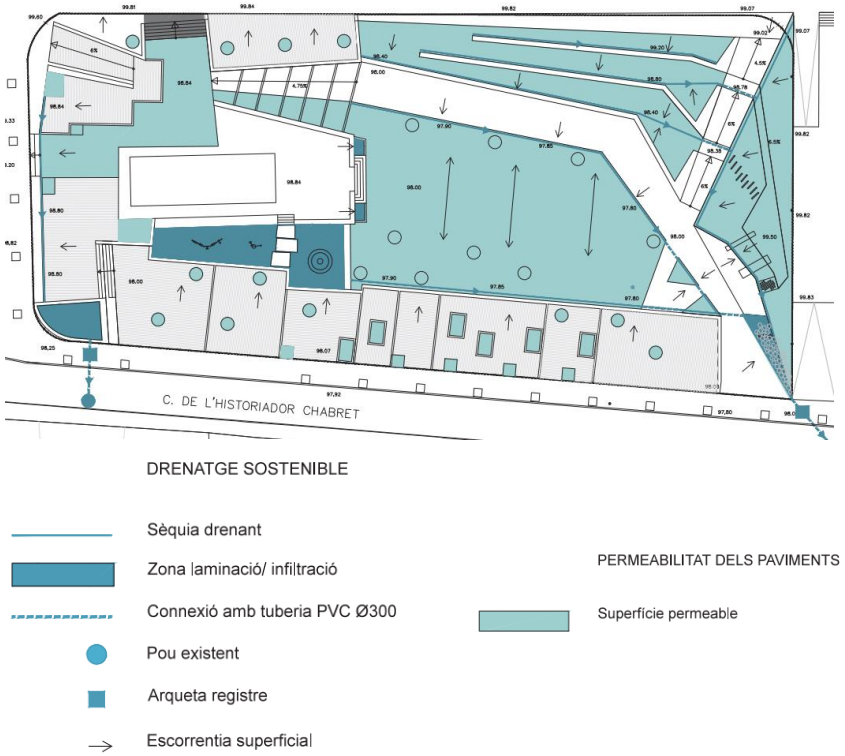


Figura 29. Plano de distribución de zonas permeables, impermeables y zonas de laminación en la plaza de la Ermita de San Jerónimo.

La incorporación de SUDS al diseño se esta plaza ha permitido incorporar soluciones innovadoras a la gestión de la escorrentía, favoreciendo la gestión in situ, el riego pasivo y la recarga de acuíferos, además de reducir la presión sobre la red de colectores de la ciudad.

5.6. Plaza Amparo Arce

En el parque Amparo Arce, situado en Benimaclet, se incorporaron diferentes tipos SUDS para dar respuesta a la problemática del drenaje.

Figura 30. Planta de la plaza Amparo Arce en Benimaclet.

En el parque se incluyeron pavimentos permeables que permiten la infiltración de las escorrentías. Estos tramos de pavimentos se encuentran unidos entre sí por zanjas de infiltración, que contribuyen al reparto de las aguas.

Imagen 29. Distribución de los distintos tipos de pavimentos en la plaza.

Durante los eventos de lluvia, la topografía del parque concentra las escorrentías en zonas que no son de paso para su almacenamiento temporal y posterior infiltración a través de los pavimentos permeables.

Los SUDS contemplados en el diseño minimizan el impacto hidrológico de la inclusión de nuevas zonas impermeables, y contribuyen a una adecuada recarga del acuífero. Además, las medidas tomadas han permitido la reducción del consumo de agua para riego, gracias al riego pasivo mediante las zanjas, y la posibilidad de obtención de agua por parte de la vegetación de las zonas donde esta se infiltra.

Imagen 30. Inundación localizada en una zona no transitada durante un evento extremo de lluvia.

Imagen 31. Infiltración progresiva de la escorrentía tras finalizar el evento.

5.7. Plaza Lorenzo de la Flor

El proyecto de reurbanización de la plaza Lorenzo de la Flor permitió la incorporación de SUDS para la gestión de las lluvias. En primer lugar, se incluyeron pavimentos permeables que, junto con una red de zanjas drenantes, permiten la infiltración de las escorrentías. Este sistema está apoyado por una red de drenes perforados dentro de las zanjas que descargan a pozos de gravas registrables con un sistema de alivio a la red de colectores.

Imagen 32. Detalle del pavimento permeable en un día de lluvia en la plaza Lorenzo de la Flor. De izquierda a derecha: pavimento permeable, rigola de hormigón poroso y adoquín impermeable.

Para permitir el drenaje, bajo el pavimento se ha instalado una capa de arena sobre una capa drenante de gravas. Este paquete se encuentra envuelto en geotextil que se coloca sobre una capa de zahorras artificiales compactadas.

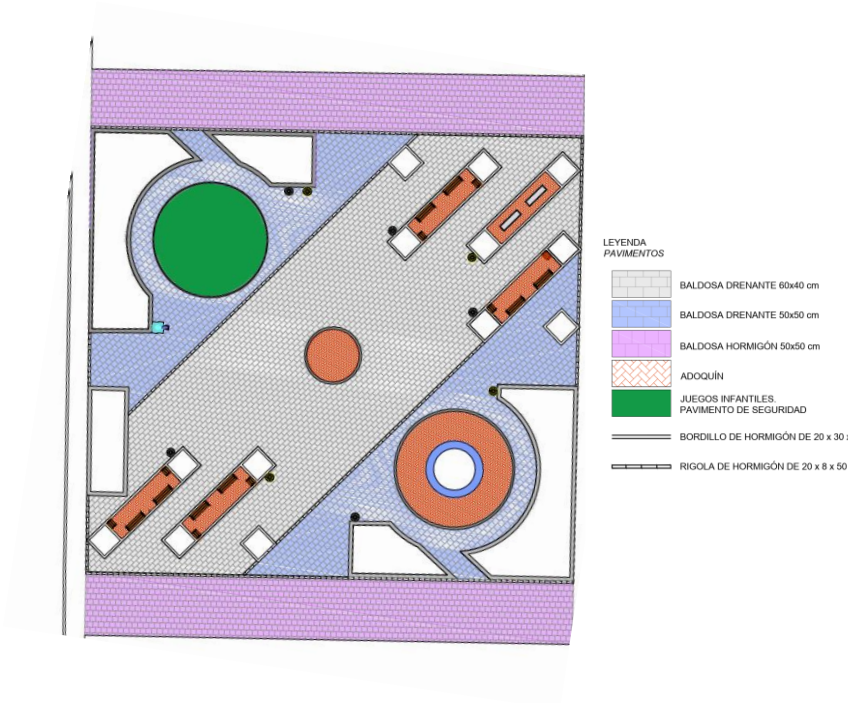


Figura 31. Distribución de los pavimentos en la plaza Lorenzo de la Flor.

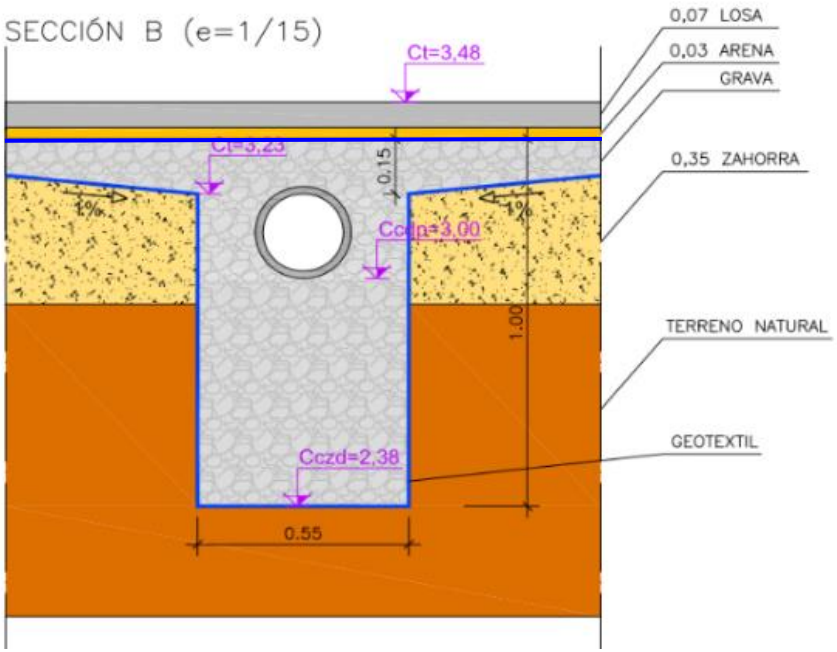


Figura 32. Sección bajo pavimento permeable en la plaza Lorenzo de la Flor.

El sistema de drenaje consta, además de los pavimentos permeables, de un conjunto de drenes filtrantes que conducen la escorrentía a pozos de infiltración rellenos de gravas. Cuando los pozos se saturan existe un sistema de rebose que conecta los pozos entre sí y con la red de drenaje convencional.

Figura 33. Plano del sistema de drenaje de la plaza Lorenzo de la Flor. Con líneas azules se destaca la red de drenes filtrantes.

El pozo situado aguas arriba de la conexión a la red de drenaje incluye una clapeta que impide el retorno de agua desde la red general a los pozos de infiltración. Este pozo cuenta con un sistema de filtrado a base de arenas con geotextil.

En conjunto, el sistema permite la gestión sostenible de las aguas pluviales de la plaza en origen, favoreciendo su infiltración al terreno y mejorando el funcionamiento global de las redes de colectores de la zona.

Imagen 33. Perspectiva general de la plaza Lorenzo de la Flor.

5.8. Carril bici en la calle Manuel Candela

La construcción de infraestructura de movilidad sostenible también ofrece la posibilidad de incluir sistemas de drenaje sostenible. Por ejemplo, en el carril bici de la calle Doctor Manuel Candela se han incluido pavimentos permeables en varios de sus tramos. Este proyecto ha sido financiado a partir de una propuesta de presupuestos participativos con la que se pretendía densificar la red de carriles bici mejorando la conexión entre barrios por este medio.

Imagen 34. Pavimentación del carril bici de la calle Manuel Candela.

El carril bici, de unos 3 m de ancho, incluye pavimentos permeables formados por una mezcla asfáltica drenante sobre una base de gravas de machaqueo regularizada con gravas de menor tamaño.

Gran parte del carril bici transcurre en la mediana que separa las dos calzadas, y es en este punto donde los pavimentos permeables juegan un papel importante para no aumentar la superficie impermeable previa al proyecto.

En este caso, el uso de los SUDS ha permitido que pese a haber reducido la superficie ajardinada, no se haya aumentado la superficie impermeable total. De este modo se ha reducido el impacto que podría tener una actuación de estas características sobre la red de colectores, y se han aplicado soluciones que imitan los procesos naturales de drenaje.

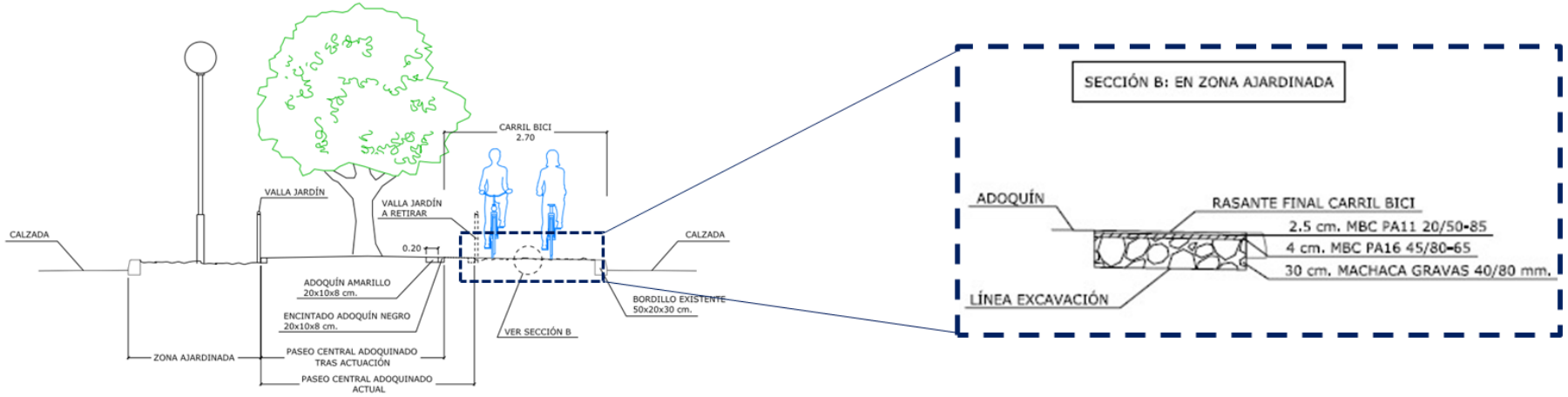


Figura 34. Sección del carril bici en Manuel Candela.

Imagen 35. Parc Central de València.

6. El Proceso de Diseño

En este capítulo se explicarán los pasos a seguir para dimensionar satisfactoriamente los SUDS e integrarlos adecuadamente en el paisaje urbano.

En primer lugar, es necesario **reconocer las características del lugar** e identificar aquellos condicionantes del diseño que permitirán seleccionar la **técnica SUDS más adecuada.**

La tipología urbana del ámbito de actuación también será un factor clave para definir tanto un nivel de **tratamiento adecuado** a las características de las escorrentías, como un **criterio de diseño volumétrico que reconozca la diversidad** urbana, y se adecúe al potencial del lugar.

Imagen 36. Áreas de biorretención en el barrio de Bon Pastor, Barcelona.

6.1. Condicionantes del diseño

Los SUDS son elementos integrados en el paisaje urbano y, por tanto, su implantación vendrá condicionada por los elementos que componen su entorno. Por ello, es importante identificar aquellos factores físicos del espacio de proyecto (topografía, usos del suelo, instalaciones existentes...) que puedan resultar restrictivos de cara al uso de estas técnicas.

6.1.1. Topografía

El estudio de la topografía permite la **identificación de los patrones naturales de drenaje**, y se centra en la localización de los puntos bajos y las pendientes del terreno. Un correcto estudio topográfico permitirá el drenaje por gravedad, evitando bombeos innecesarios, y propiciará que la implantación de SUDS pueda reproducir el drenaje natural en la mayor medida posible.

Los SUDS deben localizarse preferentemente en zonas con pendientes suaves, donde se facilite el flujo de la escorrentía a velocidades bajas, de modo que se puedan optimizar los volúmenes de almacenamiento en las zonas de detención e infiltración del agua. También, estas velocidades bajas y mayores tiempos de retención favorecerán los mecanismos fitoremediadores y de filtración.

En zonas llanas donde las pendientes son muy bajas o inexistentes, es posible encontrar problemas de acumulación de agua al no existir flujo superficial de la escorrentía. En estos escenarios es muy recomendable gestionar la escorrentía en origen y en superficie, ya que la construcción de una red de tuberías puede comportar costosas excavaciones que permitan tender las tuberías con una pendiente razonable; e incluso la imposibilidad de descargar en el punto de vertido sin ayuda de una estación de bombeo.

Las zonas con pendientes elevadas plantean problemáticas diferentes. Velocidades altas de la escorrentía pueden provocar arrastre excesivo de sedimentos y erosión en el terreno. En ocasiones pueden ser necesarios elementos disipadores de energía y escalonamientos. También, para optimizar los almacenamientos en superficie, pueden ser necesarias pequeñas represas.

Imagen 37. Cuneta vegetada con represas en Xàtiva (Valencia).

En todo caso, no es aconsejable la infiltración con fuertes pendientes (mayores de 25 %) ya que puede causar riesgos de inestabilidad del terreno.

6.1.2. Geología y geotecnia

El estudio geológico de la zona permite conocer la **capacidad de infiltración** del suelo, que será un factor clave para el diseño de los SUDS y las funciones que estos podrán llevar a cabo.

La presencia de agua subterránea es otro factor importante a valorar durante el estudio geotécnico. Por lo general, **niveles freáticos muy superficiales pueden dificultar la infiltración** y tener un gran impacto en los almacenamientos subterráneos permeables, cuyo volumen de almacenamiento disponible para una tormenta podría disminuir si las aguas subterráneas rellenan parte del mismo. También, en el caso de elementos estancos, pueden producirse **problemas de flotación** que deben estudiarse en la fase de proyecto.

El estudio geológico comenzará por la caracterización de los materiales presentes en el corte geológico, identificando aquellos de permeabilidades muy bajas como rocas poco fragmentadas, yesos o arcillas expansivas, que puedan desaconsejar la infiltración de las escorrentías. La profundidad y configuración de estas capas condicionan la capacidad de infiltración del paquete de terreno y pueden servir para establecer si la infiltración es una solución aconsejable.

Para valorar esta capacidad de infiltración del terreno se debe caracterizar la **permeabilidad del suelo**, que mide la velocidad con la que puede infiltrarse en el terreno un volumen de agua conocido.

Para realizar una primera aproximación a este valor y realizar cálculos preliminares, se puede estimar una permeabilidad orientativa a partir del tipo de suelo y datos bibliográficos. La siguiente tabla, muestra los valores de permeabilidad esperables para distintos tipos de suelo según el Código Técnico de la Edificación.

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

Tabla 2. Permeabilidades asociadas a distintos materiales según Código Técnico de la Edificación. Fuente: CTE (2008).

Para mantenerse del lado de la seguridad en esta primera estimación, se aplicará un factor de seguridad (FS) de 10 sobre este valor tabulado. De este modo, en las fases iniciales el valor de la permeabilidad a emplear se obtendrá como:

$$K_{inicial} = K_{tablas}/10$$

El valor de permeabilidad obtenido de la bibliografía es **adecuado para realizar estudios de viabilidad y anteproyectos**. En fase de proyecto es necesario llevar a cabo **ensayos de campo** que permitan conocer con mayor exactitud el valor de la permeabilidad del terreno. El ensayo

más habitual para conocer este valor de permeabilidad somera es el ensayo de permeabilidad en zanja.

Procedimiento del ensayo in situ de permeabilidad en zanja

Este ensayo in situ se realizará en aquellos lugares donde se proponga la construcción de una infraestructura de infiltración. El procedimiento está basado en la publicación británica **BRE Digest 365, 'Soakaway Design' Revised 2016**, y es el procedimiento más habitual en el mundo anglosajón.

A grandes rasgos, el ensayo consiste en excavar una zanja de unas dimensiones conocidas que se llenará de agua en tres ocasiones. Se medirán los tiempos del descenso de nivel de agua en la zanja, y a partir de los mismos se podrá estimar el valor de la permeabilidad del terreno en esa localización.

Para realizar el ensayo se seguirán lo siguientes pasos:

Paso	Descripción
1	Excavación
2	Llenado de la zanja
3	Toma de medidas
4	Cálculos

Tabla 3. Pasos a realizar en la ejecución de un ensayo de permeabilidad in situ.

1 - Excavación

Las dimensiones de la excavación dependerán de las circunstancias particulares de cada caso y en especial de la estructura de infiltración a implementar. La siguiente figura muestra algunas dimensiones orientativas:

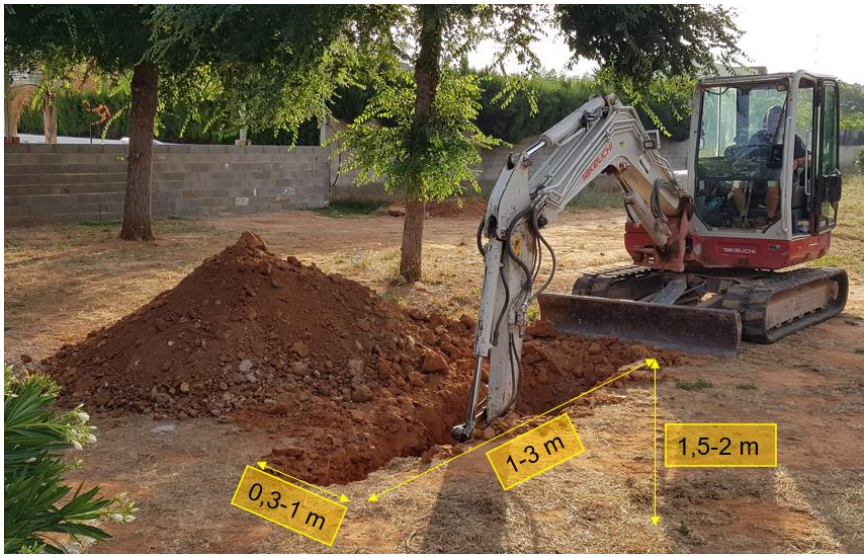


Figura 35. Valores orientativos de la zanja para el test BRE365.

La profundidad del ensayo se adaptará en función de la profundidad de la estructura proyectada. Habitualmente, esta suele establecerse 1 m ó 1,50 m por debajo del punto de entrada del agua, siendo habitual una profundidad de 1,50 m con un llenado de zanja de hasta 1 m.

La excavación se llevará a cabo de forma que las paredes sean lo más verticales posible, formando una zanja de sección rectangular.

Antes del llenado de la zanja se han de **tomar medidas precisas de sus dimensiones**, realizándose siempre desde fuera de la zanja por razones de seguridad.

2- Llenado de la zanja

Se llenará de agua hasta 1 m o hasta la altura de agua requerida según la infraestructura a implantar. **El llenado de la excavación debe ser rápido, pero realizado con cuidado de no provocar el colapso de las paredes** de la excavación. Es muy recomendable tomar fotos de la zanja antes y después del llenado.

Imagen 38. Toma de medidas durante un ensayo de permeabilidad.

3- Toma de medidas

Se contabilizarán los tiempos de vaciado a partir del momento de llenado. Para ello se anotarán los tiempos y el calado existente en la zanja obteniendo una curva como la representada en el gráfico de la Figura 36.

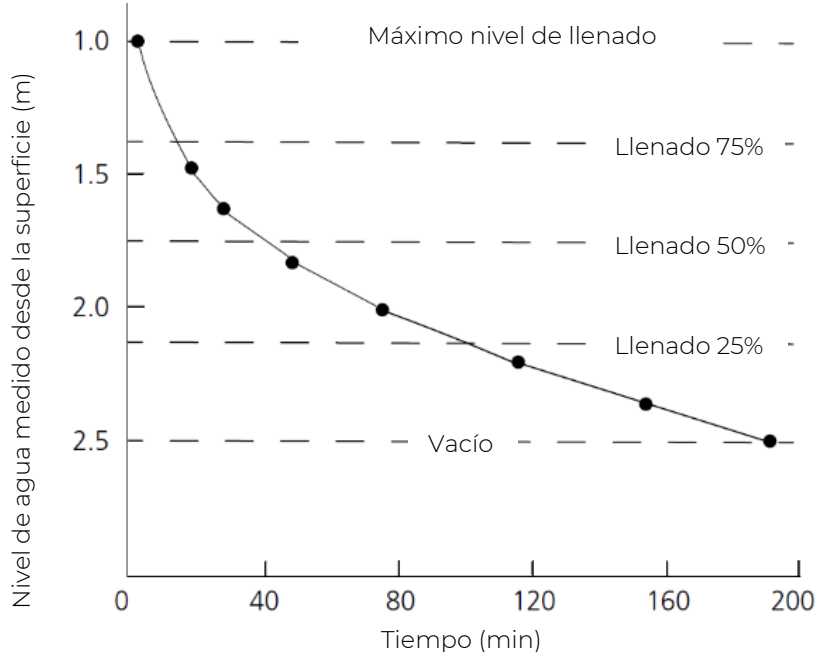


Figura 36. Ejemplo de curva de infiltración. Fuente: Adaptado de BRE (2017).

Los **intervalos temporales de toma de medidas deben adaptarse según el tipo de suelo** (más espaciamiento para permeabilidades bajas, menos espaciamiento para suelos permeables) y además pueden variarse durante el ensayo de modo que se registren descensos de calado significativos. Por ello, deben ser 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 minutos. Además, se deberán tomar los tiempos relativos a los calados de

agua correspondientes al 75 % y 25 % de la altura de agua inicial (h_0). La curva obtenida permitirá obtener los valores de permeabilidad del terreno.

Durante el ensayo es importante registrar y dejar constancia de todas las incidencias que puedan ocurrir:

- Lluvia. 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.
- Anomalía en el terreno adyacente. 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.
- Otros. Adicionalmente debe dejarse constancia en el registro de campo del colapso de los taludes de la zanja, surgimiento de agua subterránea o cualquier otra circunstancia que pudiese tener impacto en los resultados obtenidos.

Por todo ello es importante realizar una **adecuada preparación del ensayo** que incluya la elaboración de plantillas que faciliten tanto la toma de datos, como el registro de todas las incidencias que puedan ocurrir durante el ensayo.

4- Cálculos

A partir de la curva de datos obtenida en campo, el valor de la permeabilidad se obtendrá con la siguiente fórmula:

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

donde:
k: Permeabilidad del terreno ensayado (m/s).
V_{P75-25}: Volumen de almacenamiento entre el 75 % y el 25 % de la profundidad de excavación.
A_{P50}: Superficie mojada del 50 % de la profundidad de la excavación que se llena de agua, incluyendo el agua de base (m^2).
T_{P75-2}: Tiempo de vaciado entre el 75 % al 25 % de la profundidad de la excavación que se llena de agua (s).

El resultado para cada zanja será el de menor permeabilidad. Como norma general, para el conjunto del ámbito **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 del diseño.

Como criterio adicional de seguridad, **al valor de permeabilidad obtenido en campo se le aplicará un factor de seguridad** que minore la velocidad de infiltración, siendo habitual aplicar factores superiores a 1,5. De este modo, el valor de la permeabilidad para el proyecto se obtendrá como:

$$K_{proyecto} = K_{ensayo}/FS$$

6.1.3. Hidrología

El objetivo del estudio hidrológico es estudiar los **procesos hidrológicos naturales** para, mediante la implantación de SUDS, tratar de reproducir el régimen natural tras la actuación. Para ello se comenzará con el **estudio de las cuencas drenantes** dentro del ámbito del proyecto, y de aquellas zonas colindantes que vierten sus aguas hacia la

zona de trabajo. Las cuencas pueden obtenerse a partir del estudio topográfico, teniendo en cuenta los elementos arquitectónicos que puedan condicionar los flujos y las pendientes de las superficies. También es importante caracterizar el tipo de suelo, ya que proporcionará información acerca del grado de impermeabilidad de la cuenca. Esta impermeabilidad vendrá caracterizada por un coeficiente de escorrentía.

La Normativa para obras de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de València (2016) recoge los **coeficientes de escorrentía asociados a cada tipo de suelo.** Por tanto, el área impermeable de una cuenca se podrá obtener con la siguiente expresión:

$$A_{Imp} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \cdot A_i$$

Donde:

A_{imp}: Área impermeable de la cuenca (m^2).
n: Número de tipos de suelo.
C_i: Coeficiente de escorrentía del tipo de suelo i, extraído de la Normativa para obras de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de València (adimensional).
A_i: Superficie del tipo de suelo i (m^2).

El estudio hidrológico también deberá considerar los **puntos de vertido**, especialmente en el caso de existir medios receptores vulnerables, ya que deberán cumplirse los **requisitos de calidad y cantidad** exigidos por el organismo regulador.

Por último, deberá considerarse, en aquellos emplazamientos donde sea relevante, el **riesgo de inundación**. Para ello se recomienda consultar el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI).

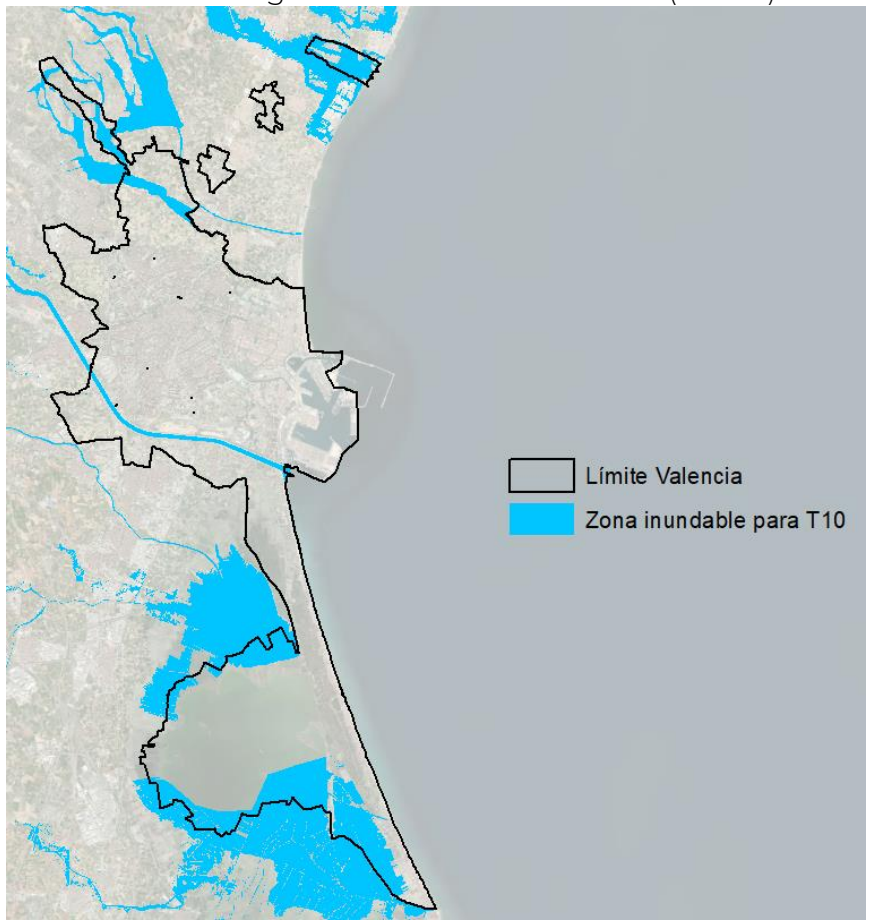


Figura 37. Delimitación de zonas inundables para el periodo de retorno de 10 años. Fuente: adaptación de SNCZII.

En caso de que exista riesgo de inundación en el ámbito de trabajo, los SUDS deben diseñarse teniendo en cuenta

factores tales como un nivel freático elevado o posibles problemas de erosión derivados del flujo superficial.

Debido a su proximidad al mar, gran parte de la ciudad de València presenta un nivel freático bastante superficial. A partir de los registros piezométricos disponible y de estudios geotécnicos previos, se ha elaborado un mapa esquemático que delimita las zonas de la ciudad donde el nivel freático puede tener un gran impacto en el diseño.

La Figura 39 muestra una línea divisoria roja que recorre la ciudad dividiéndola en dos zonas según la profundidad del nivel freático:

- Al **este de la línea roja** el nivel freático se encuentra a menos de 2 m de la superficie del terreno, siendo más somero conforme nos acercamos al mar. En estas zonas el nivel freático es un factor a tener muy en cuenta en el diseño.

- Al **oeste de la línea** la cota del terreno crece rápidamente, creando un mayor resguardo entre superficie del terreno y el agua subterránea.

En las zonas con nivel freático somero es muy importante controlar la calidad de las aguas que se infiltren, ya que los contaminantes pueden alcanzar los acuíferos rápidamente, y habiendo atravesado pocas capas de terreno que faciliten su filtrado. Además, estos contaminantes pueden acabar en el mar en un tiempo muy corto.

Imagen 39. Descarga de datos de información piezométrica.

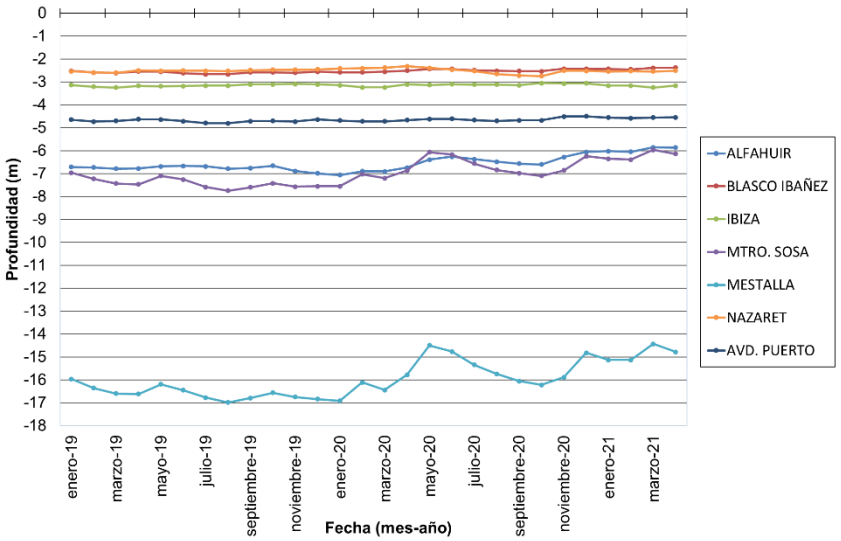


Figura 38. Evolución del nivel piezométrico a lo largo del año en varios puntos de la ciudad de València.

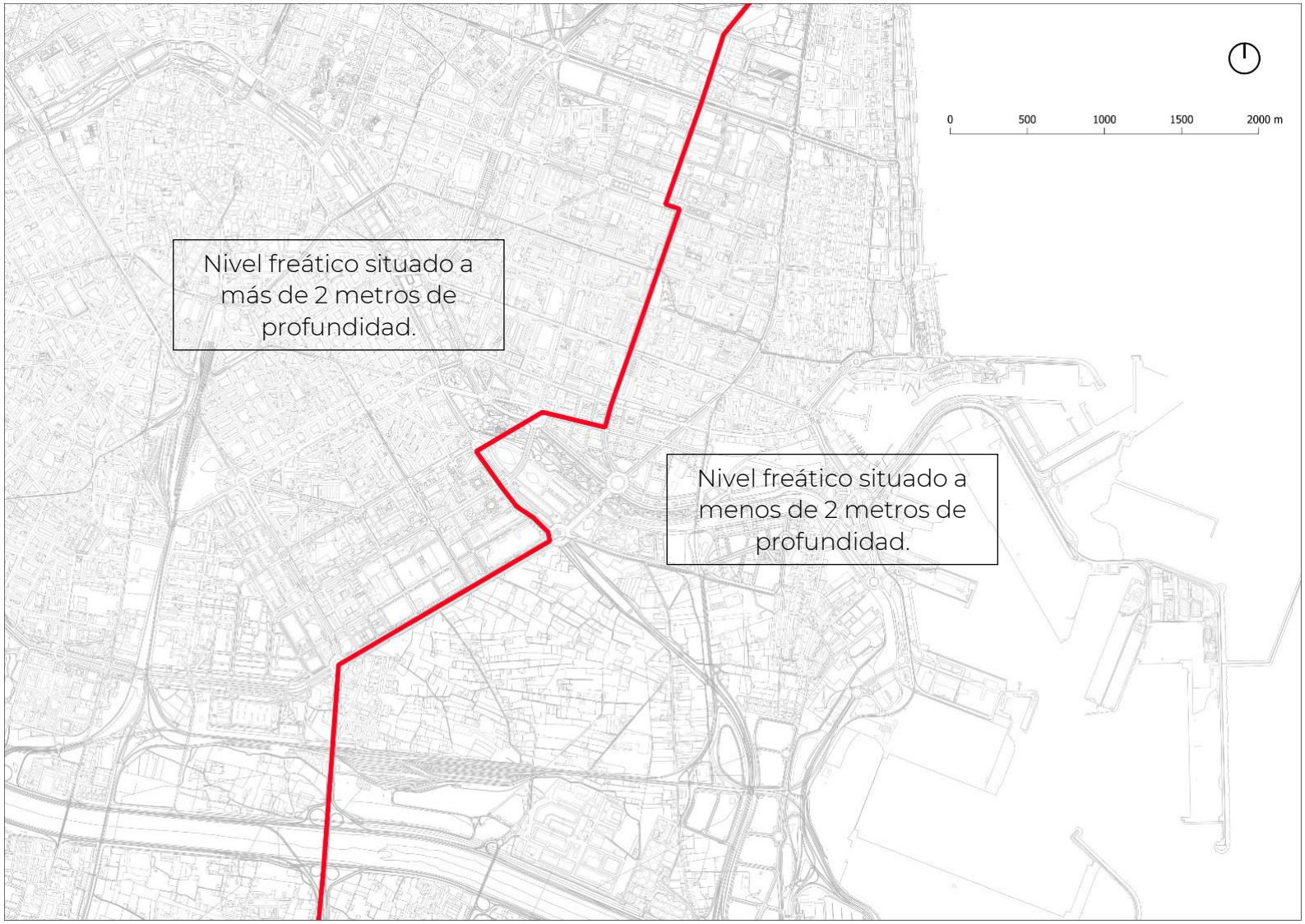


Figura 39. Delimitación de zonas según profundidad del nivel freático en la ciudad de València.

6.1.4. Pluviometría

Para el diseño de los sistemas de drenaje que incluyan SUDS, deberán emplearse dos escenarios pluviométricos bien diferenciados.

Por un lado, la Normativa para obras de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de València recoge la **curva intensidad-duración-frecuencia de aplicación** en la ciudad. Esta expresión matemática permite obtener las intensidades máximas esperables para una lluvia uniforme de una duración determinada, y periodo de retorno 25 años. Esta curva será de aplicación para todos los cálculos hidráulicos del **sistema de drenaje en condiciones extremales.**

Por otro lado, para el dimensionamiento de los SUDS se emplearán **reglas de diseño basadas en percentiles volumétricos**, que serán **representativos de las lluvias ordinarias**. Para realizar este proceso es necesario obtener los eventos lluviosos independientes (estadísticamente, en València, esto ocurre cuando existe un período de más de 22 horas sin llover), y descontar aquellos irrelevantes para la producción de escorrentía (V<1 mm).

De este modo, los percentiles establecerán umbrales de precipitación acumulada tales que el x % de los eventos independientes anuales no superarán este valor. Por ejemplo, el percentil V_{80} define un volumen de lluvia tal que el 80 % de los eventos lluviosos independientes del año tendrán asociado un volumen menor.

La siguiente tabla muestra los percentiles obtenidos para las distintas estaciones pluviométricas del Ciclo Integral del Agua, así como el valor promedio de las mismas:

ESTACIÓN	V_{98}	V_{95}	V_{90}	V_{85}	V_{80}	V_{75}	V_{70}	V_{60}
ALAMEDA	122,9	54,6	36,8	25,1	19,3	15,0	11,5	8,3
BENIMAMET	118,7	55,4	34,7	27,5	19,7	14,7	11,9	8,3
CABECERA	119,2	64,9	38,8	30,9	21,0	17,1	11,7	8,3
IBIZA	117,0	57,6	35,3	25,2	18,9	16,2	12,6	8,5
MASSARROJOS	90,5	57,3	34,5	25,9	20,0	15,8	12,0	8,0
MESTALLA	126,5	66,3	39,3	29,0	21,3	16,0	12,0	8,5
RONDA SUR	119,4	63,6	37,4	26,0	20,7	15,8	12,3	8,3
SALER	110,6	61,8	38,4	26,9	18,2	15,2	11,5	7,1
Valor promedio	116	60	37	27	20	16	12	8

Tabla 4. Percentiles obtenidos para las distintas estaciones pluviométricas del Ciclo Integral del Agua (valores en mm).

Como se detallará más adelante (Epígrafe 6.3), estos **valores promedio** constituirán el eje para el dimensionamiento de los SUDS, y se presentarán criterios de diseño variables teniendo en cuenta las posibilidades que ofrece su ámbito de instalación.

6.1.5. Otros condicionantes

Además de los condicionantes físicos que afectarán al diseño de los SUDS, existen otros condicionantes urbanos que deben ser tenidos en cuenta, como la capacidad disponible de las redes de colectores, las infraestructuras existentes y la integración paisajística de las soluciones de drenaje urbano.

Redes de colectores y capacidad disponible

Los SUDS ubicados en zonas urbanas deberán establecer un **punto de vertido** tras la detención, el filtrado o, en caso de infraestructuras de infiltración, como salida de emergencia o aliviadero. Por ello es importante disponer de información acerca de la red de colectores municipal, conociendo su ubicación y en especial su capacidad, de cara a establecer la viabilidad de la conexión a la red y el caudal de vertido admisible.

El Sistema SIRA (Sistema de Información de la Red de Alcantarillado) contiene toda la información actualizada de la red de colectores de la ciudad de València. Además de la localización precisa de las redes, esta base de datos muestra información sobre los pozos, los imbornales y los colectores, incluyendo sus cotas, pendientes y secciones.

Se trata de una **base de datos viva y en permanente actualización**, y cualquier intervención en la red de alcantarillado debe ser introducida en el sistema, de modo que este refleje una imagen precisa y actualizada de la red.

Figura 40. Principales ejes de la red de Saneamiento en València.

Infraestructuras existentes

Los SUDS son sistemas que requieren de un espacio tanto en superficie como bajo tierra y, en muchos casos, favorecerán la infiltración de escorrentía al subsuelo.

La **infiltración puede afectar a las edificaciones existentes**, y por ello es aconsejable mantener una distancia de seguridad respecto a las cimentaciones. Factores como la tipología de la cimentación, el área drenada por el SUDS o la permeabilidad del terreno condicionan la distancia mínima a guardar, requiriéndose distancias mayores conforme menor sea la permeabilidad. **En general se aconseja guardar una distancia superior a 3 m, pudiéndose**

reducir a 1 m para aquellos SUDS que solamente gestionan la escorrentía propia.

Además de los cimientos, es relevante tener en cuenta la **ubicación de servicios** de electricidad, saneamiento, telefonía, gas, fibra óptica, etc. existentes en las zonas donde se pretenden emplazar SUDS. Estos servicios deben ser identificados de forma temprana, de modo que el diseño de la actuación pueda tener en cuenta su ubicación y se puedan seleccionar las técnicas SUDS más adecuadas en cada caso.

En el caso de implantación de SUDS en desarrollos nuevos, es recomendable incluir corredores dedicados a servicios, de forma que se minimice la afección a los SUDS en el proceso de construcción o mantenimiento de estos servicios.

Integración en el paisaje urbano

Los SUDS suelen implementarse en lugares impermeabilizados, como alternativa verde a los sistemas de drenaje tradicional. En general su impacto en la biodiversidad es positivo, y favorecen la **creación de nuevos ecosistemas urbanos**. En zonas verdes preexistentes donde se plantee implantar SUDS, estos deben tener en cuenta los hábitats y la vegetación existentes, incorporándolos en los diseños. Esto se puede hacer dando continuidad a la vegetación presente y alterando lo menos posible el ecosistema.

En cuanto a la vegetación, es importante implantar vegetación autóctona ya que será más resistente a las condiciones climáticas, y favorecerá la proliferación de la fauna. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que la vegetación puede verse sometida a encharcamiento temporal durante periodos de lluvia. También debe considerarse que, según las especies seleccionadas, la implantación de una **red de riego** puede ser necesaria, y debe comprobarse que la infraestructura existente pueda absorber las nuevas demandas.

La incorporación de SUDS y zonas verdes a las ciudades no es solo beneficiosa para la fauna autóctona, sino que mejora nuestras ciudades desde el punto de vista ambiental y estético.

Figura 41. Zonas de biorretención integradas en el paisaje urbano en la calle Fluvià, Barcelona.

6.2. Tipologías edificatorias

El Plan General de Ordenación Urbana vigente en la ciudad establece las normas a seguir en el desarrollo urbanístico de València. Este documento indica qué tipos de desarrollos pueden implantarse en los distintos distritos, de modo que exista una coherencia arquitectónica entre edificaciones vecinas.

Aunque el plan recoge un gran número de tipologías edificatorias y subcategorías, a efectos de drenaje muchas pueden consolidarse al presentar características comunes. De este modo, a los efectos de aplicación de esta Guía, se han establecido las siguientes categorías:

- Centro histórico protegido
- Ensanche
- Edificación abierta
- Viviendas unifamiliares
- Industrial
- Sector terciario

Adicionalmente, y para cubrir gran parte del paisaje urbano público, pueden establecerse algunas categorías adicionales que permitan completar el mapeado de la ciudad:

- Parques y jardines
- Red viaria

Estas tipologías edificatorias presentan características diferentes y, en consecuencia, los criterios de diseño y posibles SUDS a implantar deben reconocer esta diversidad.

Figura 42. Distribución de las tipologías del PGOU en el Término Municipal de València.

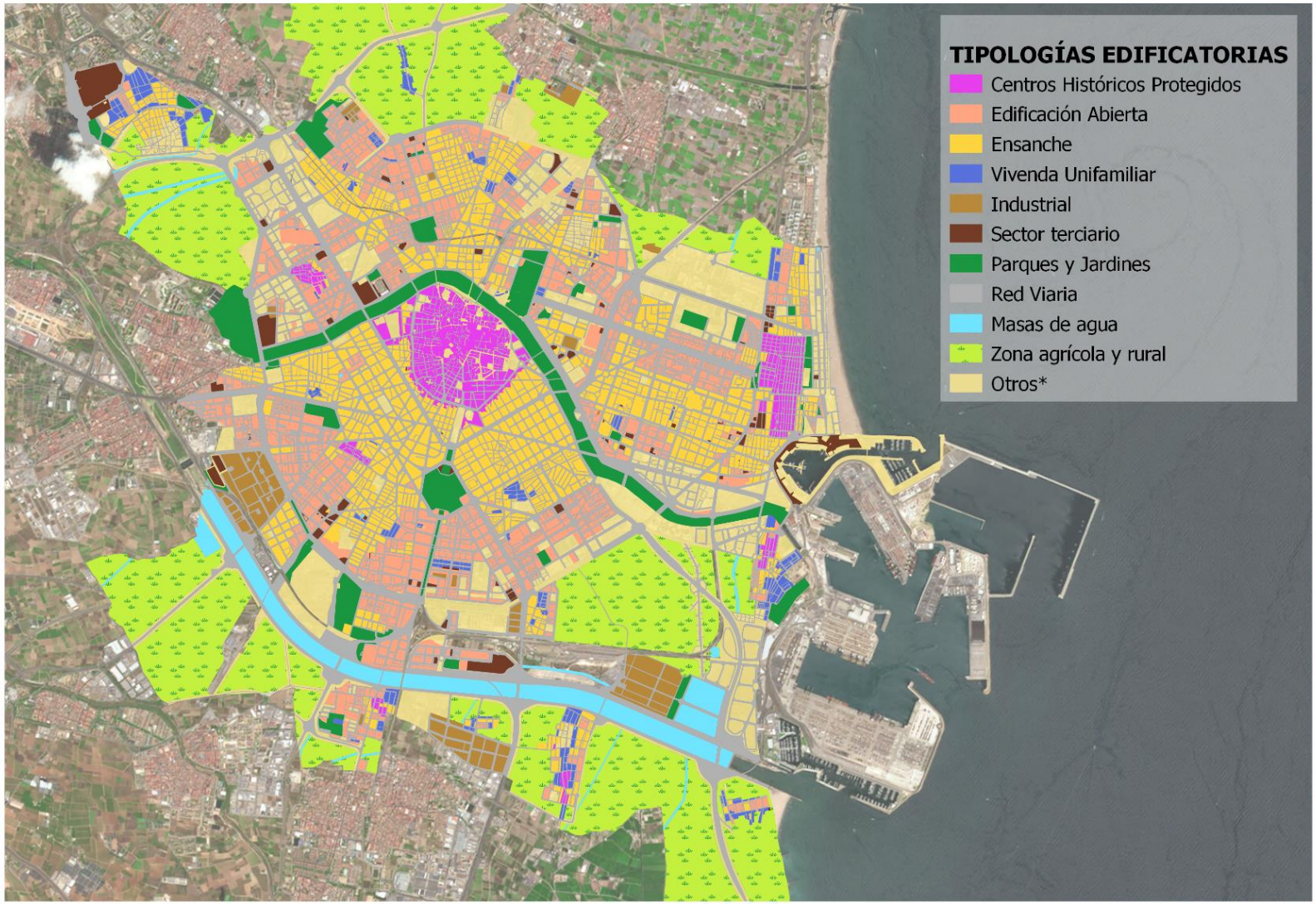


Figura 43. Distribución de las tipologías edificatorias del PGOU en el centro de València.
*Se incluyen zonas en desarrollo, equipamientos públicos y edificios religiosos entre otros.

Centros históricos protegidos (CHP)

Se corresponde con las zonas más antiguas de la ciudad de València, destacando los centros históricos de Ciutat Vella, Grao-Cabanyal y Poblats y Pobles del Nord, del Sud y de l'Oest. Se caracteriza por la presencia de **edificios históricos y calles estrechas**, adoquinadas en muchas ocasiones. Existen pequeñas plazas que pueden contener zonas ajardinadas.

1. Pavimento permeable
2. Parterre inundable
3. Depósitos reticulares

Figura 44. Incorporación de SUDS en CHP. Fuente: adaptación de Transports for London (2016).

Aunque el PGOU agrupa los centros históricos en una única categoría, **cada centro histórico presenta unas características diferentes** que deben considerarse a efectos de diseño. Por ejemplo, la zona histórica del Cabañal presenta un nivel freático bastante superficial debido a su proximidad al mar. Esto hace poco aconsejables las soluciones que permitan la infiltración.

En general se trata de áreas con **ambientes bastante rígidos y poco permeables**, con pocas zonas verdes y **limitaciones arquitectónicas y arqueológicas**. Las actuaciones buscan preservar la estética histórica e integrarse en el paisaje sin grandes impactos. Por ello los parterres inundables, los alcorques estructurales o los pavimentos permeables aparecen como buenas opciones a considerar.

Imagen 40. Zonas de biorretención en el distrito de Nou Barris, Barcelona.

Ensanche (ENS)

Esta categoría se corresponde con la mayor parte de la zona centro de la ciudad, y cuenta con más de 755 ha. Está formada por edificios de varias alturas, que alternan grandes avenidas con calles de una sola dirección. Existe gran presencia de tráfico rodado que puede provocar problemas de polución y pequeños vertidos de hidrocarburos.

1. Cubierta vegetada
2. Parterres inundables (Zona de Biorretención)
3. Pavimentos permeable
4. Parterre inundable (Jardín de lluvia)

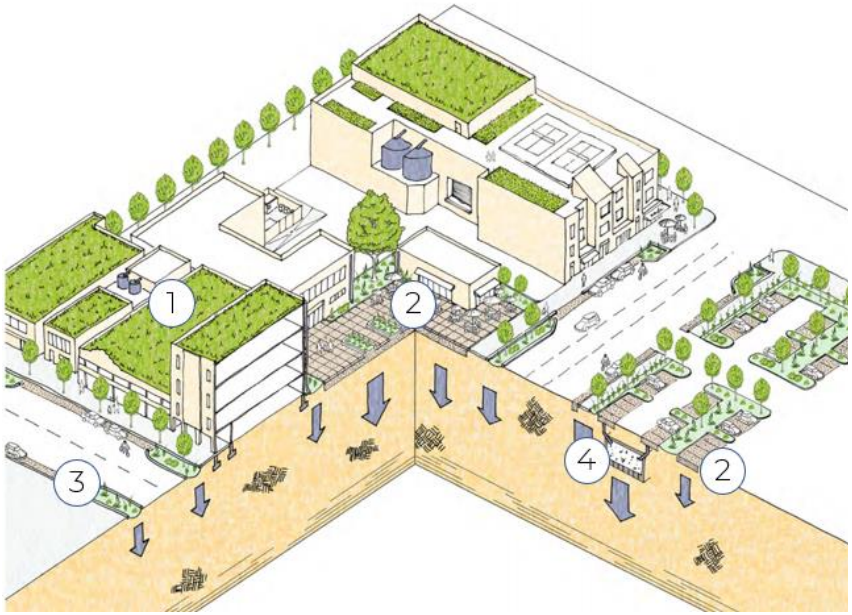
Figura 45. Incorporación de SUDS en ENS. Fuente: adaptación de City of San Francisco (2016).

Se trata de una zona con una **alta densidad edificatoria y fuertemente impermeabilizada**, y que está vertebrada por algunas de las principales vías circulatorias de la ciudad. Se debe por tanto aprovechar al máximo las **pequeñas zonas verdes** y aquellos espacios que permitan la implantación de nuevos jardines, como cubiertas, marquesinas, terrazas o patios interiores. Las cubiertas verdes, los parterres inundables o los pavimentos permeables son algunas de las alternativas que mejor pueden adaptarse a los condicionantes de esta tipología.

Imagen 41. Parterres en la Avenida de Aragón, València.

Edificación abierta (EDA)

En esta categoría se encuentran principalmente las zonas adyacentes al ensanche, más alejadas del centro histórico, y desarrolladas en la segunda mitad del siglo XX. Están formadas por urbanizaciones grandes, con bloques de viviendas de varias plantas. Entre los distintos bloques pueden existir pequeños parques y zonas verdes.



1. Cubierta vegetada
2. Pavimento permeable
3. Parterres inundables (Biorremediación)
4. Depósitos reticulares

Figura 46. Incorporación de SUDS en EDA. Fuente: adaptación de City of San Francisco (2016).

Son **áreas menos densamente edificadas** y los pequeños parques, plazas y zonas peatonales que pueden existir entre los edificios suelen presentar **buenos espacios de oportunidad para la implantación de SUDS**.

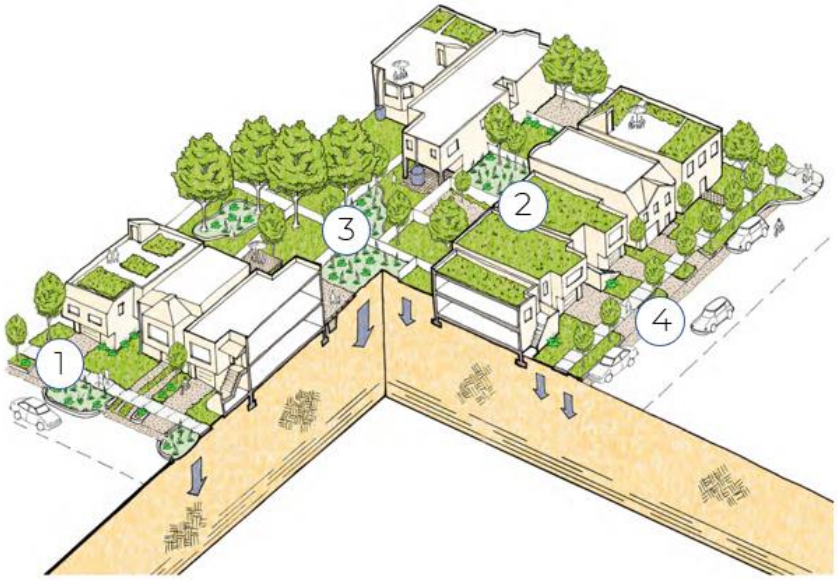
Las zonas verdes que existan en estas áreas podrían permitir la creación de jardines de lluvia u otras tipologías de SUDS que persigan la autogestión de las escorrentías.

Es importante destacar que estas actuaciones **no son de aplicación exclusiva al ámbito público**. Las zonas comunitarias de las urbanizaciones (jardines, pistas deportivas, aparcamientos...) también deben incluir SUDS al presentar buenos espacios de oportunidad.

Imagen 42. Jardines de lluvia en el patio central de un conjunto de edificaciones en la Avenida Ausiàs March, València.

Viviendas unifamiliares (UFA):

Esta tipología del PGOU se encuentra principalmente en las zonas periféricas del municipio. Existen alrededor de 150 ha de viviendas de este tipo, y en general son edificaciones de una o dos plantas, valladas y con **calles residenciales poco transitadas.**



1. Parterres inundables
2. Cubiertas vegetadas
3. Balsa de detención/infiltración
4. Pavimento permeable

Figura 47. Ejemplo de incorporación de SUDS en UFA. Fuente: adaptación de City of San Francisco (2016).

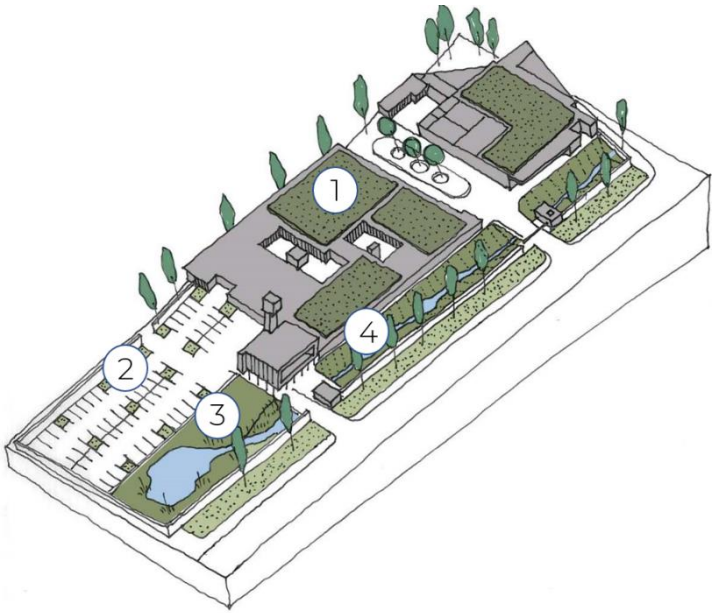
Estas zonas **presentan una densidad de viviendas bajas,** contando en ocasiones con terrazas o jardines de ámbito privado. Al igual que en las tipologías anteriores, hay que enfatizar que los SUDS **no deben limitarse al espacio público**, y deben implantarse en aquellos jardines, terrazas, aparcamientos y zonas peatonales privadas que lo permitan.

Los parterres inundables y las balsas de infiltración aparecen como una buena opción para los jardines, mientras que los depósitos de infiltración o los pavimentos permeables pueden ser de aplicación en zonas transitables o plazas de aparcamiento.

Imagen 43. Pavimento permeable cerámico en el área residencial de Benicàssim (Castellón).

Industrial (IND)

En estas zonas predominan las naves industriales y los almacenes logísticos. Normalmente son lugares amplios, altamente impermeabilizados y con gran presencia de contaminación debido a las actividades que se desarrollan y al tráfico de vehículos pesados.



1. Cubiertas vegetadas
2.Pavimento permeable
3. Balsa de detención-infiltración
4. Cuneta vegetada

Figura 48. Ejemplo de incorporación de SUDS en naves y parcelas privadas. Fuente: adaptación de Huntingdonshire District Council (2017).

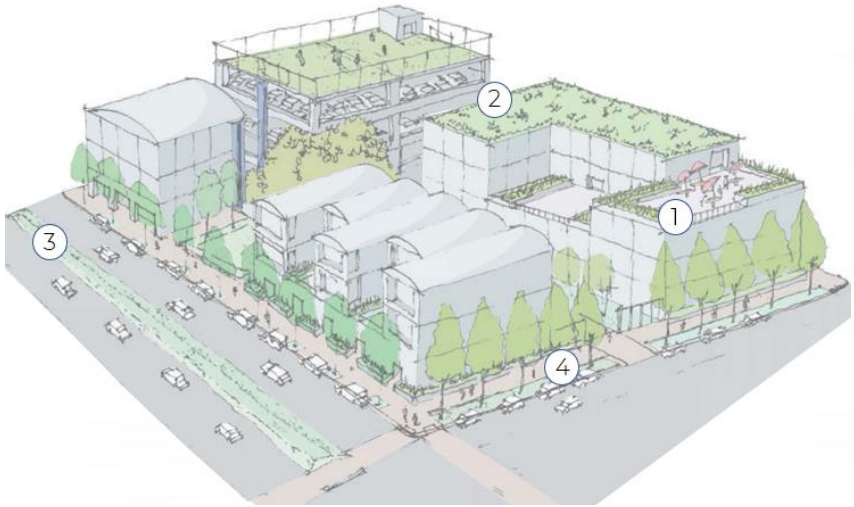
En estas **áreas fuertemente impermeabilizadas deben aprovecharse aquellas zonas permeables** que puedan existir en los perímetros de las naves o del viario para implantar zonas de biorretención que ayuden a mitigar la posible contaminación.

También aquellos **SUDS que permitan el tráfico sobre ellos**, como los depósitos de infiltración pueden ser de gran utilidad si se acompañan de tratamientos previos que aseguren que las escorrentías se infiltran con una calidad adecuada. Estas medidas deberán implantarse tanto en los espacios públicos como en las naves y parcelas privadas.

Imagen 44. Zona de biorretención en el polígono industrial de Ribarroja del Turia (Valencia).

Terciario (TER)

Estas zonas incluyen centros comerciales y oficinas. En general son **espacios amplios, con zonas abiertas peatonales y aparcamientos.**



1. Cubierta vegetada (intensiva)
2. Cubierta vegetada (extensiva)
3. Cuneta vegetada
4. Parterres inundables

Figura 49. Ejemplo de incorporación de SUDS en TER. Fuente: adaptación de City of Emeryville (2005).

En este contexto de grandes naves cobran especial importancia las **cubiertas vegetadas**, que pueden concebirse como un espacio multiuso y un atractivo en sí mismas. Además, pueden promoverse actividades educativas que den un valor añadido tanto a la actuación como a la empresa.

Imagen 45. Cubierta vegetada sobre un supermercado en Madrid. Fuente: Mercadona.

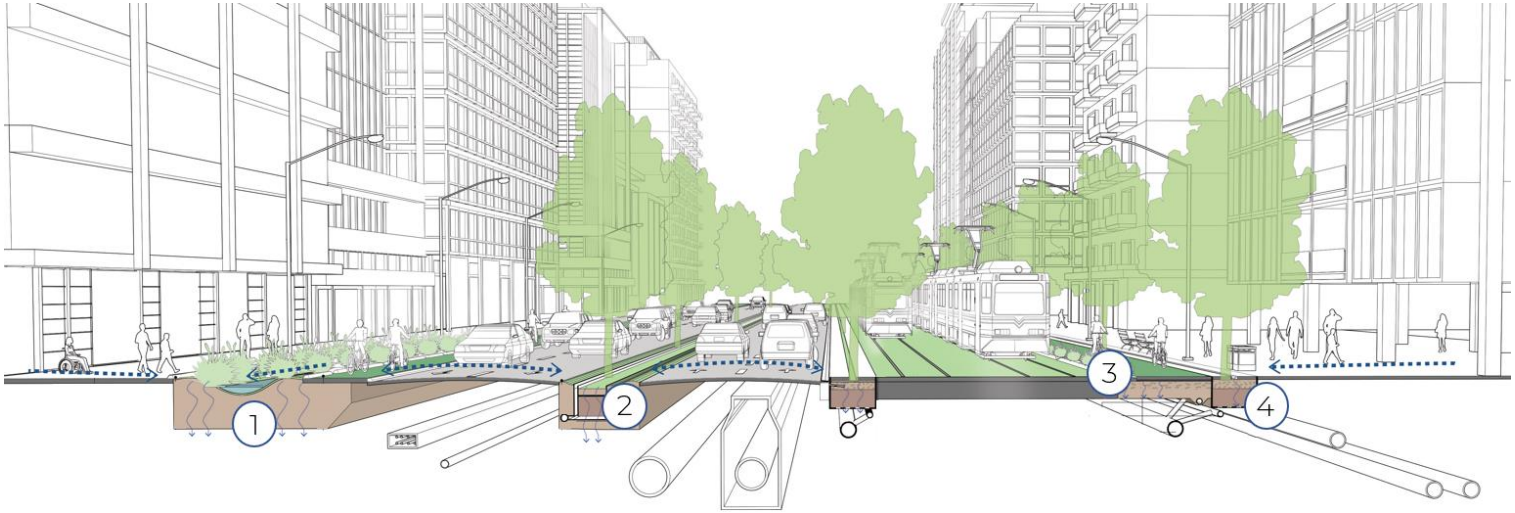
Las **zonas de aparcamiento suelen ocupar una gran extensión** en las áreas comerciales del terciario. Este hecho, combinado con su alto grado de impermeabilidad, las convierte en una de las principales zonas de producción de escorrentía. En este punto los **pavimentos permeables** emergen como una buena solución que ayude a la **gestión en origen** de las escorrentías producidas en los aparcamientos.

Red Viaria

Como todas las grandes urbes, València cuenta con una densa red viaria. Existen grandes avenidas con zonas ajardinadas centrales, que ofrecen espacios de oportunidad distintos a los que pueden encontrarse en vías estrechas, fuertemente impermeabilizadas.

En las **grandes avenidas** que cuenten con medianas o parques centrales, es posible instalar áreas de biorretención, cunetas verdes, drenes filtrantes o incluso balsas de infiltración. En cambio, en las **vías menores** que no disponen de zonas verdes o medianas, los alcorques estructurales pueden ser una buena opción.

Figura 50. Simulación gráfica de incorporación de una zona de biorretención en red viaria de pequeño tamaño. Fuente: adaptación de Washington DC Department of Transportation (2014).



1. Jardín de lluvia
2. Área de biorretención
3. Pavimento permeable
4. Alcorque estructural

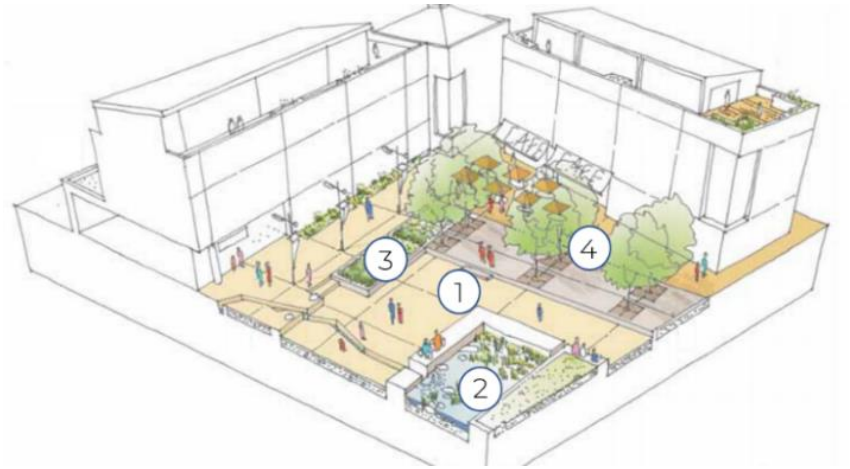
Figura 51. Incorporación de SUDS en la Red Viaria. Fuente: adaptación de NACTO (2016).

Parques y jardines

En València existen parques y jardines de diversas características, algunos de gran tamaño, que posibilitan la utilización de SUDS más extensivos o de espacios multiuso.

En general, **los parques situados en zonas de alta densidad de viviendas suelen ser más impermeables** y en ellos deben aprovecharse las pocas zonas verdes que puedan existir para implementar SUDS como jardines de lluvia, cunetas verdes o balsas de detención-infiltración. Así mismo, es posible plantear que algunas de estas infraestructuras cuenten con otros usos en tiempo seco, de modo que se haga un mejor aprovechamiento del espacio.

Parque en zona de alta densidad

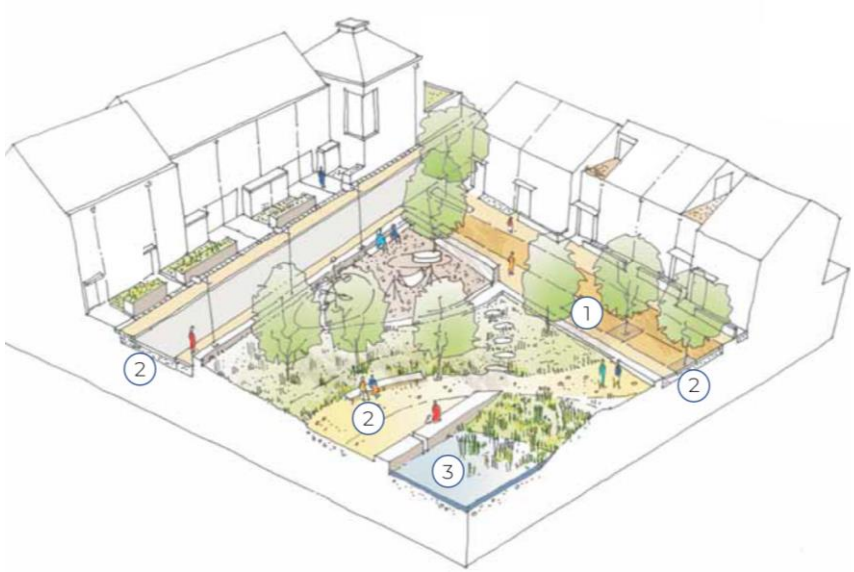


1. Pavimento permeable
2. Estanque
3. Parterre inundable
4. Alcorques estructurales

Figura 52. Incorporación de SUDS en un parque en zona de alta densidad. Fuente: adaptación de CIRIA (2010).

Los grandes parques situados en zonas de media y baja densidad residencial suelen ser más abiertos y presentar superficies más permeables, que permitan aplicar criterios de diseño más exigentes. En estos escenarios es posible implementar SUDS más extensivos, como grandes parterres inundables, balsas de detención o humedales artificiales. Al disponer de grandes espacios, es posible hacer que estos parques reciban y gestionen escorrentías procedentes de cuencas externas.

Parque en zona de densidad media



1. Alcorques estructurales
2. Pavimento permeable
3. Balsa de detención e infiltración

Figura 53. Incorporación de SUDS en un parque en zona de densidad media. Fuente: adaptación de CIRIA (2010).

	TIPOLOGÍA EDIFICATORIA							
	Centros Históricos Protegidos	Ensanche	Edificación Abierta	Unifamiliar	Industrial	Terciario	Red de viario	Parques y jardines
Cubiertas vegetadas	Posible	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Posible	Óptimo	Incompatible	Incompatible
Parterres inundables	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
Balsas de detención e infiltración	Desaconsejable	Desaconsejable	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Posible	Desaconsejable	Óptimo
Cunetas vegetadas	Desaconsejable	Posible	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
Alcorques estructurales	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Posible	Posible	Óptimo	Óptimo	Posible
Pavimentos permeables	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
Drenes filtrantes	Posible	Posible	Posible	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
Zanjas y pozos de infiltración	Posible	Posible	Posible	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
Depósitos reticulares	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Posible	Óptimo
Humedales artificiales y estanques	Desaconsejable	Desaconsejable	Posible	Posible	Óptimo	Óptimo	Desaconsejable	Óptimo

Óptimo · Posible · Desaconsejable · Incompatible

Tabla 5. Relación entre tipologías edificatorias y tipos de SUDS.

6.3. El proceso de diseño

Para el diseño de los SUDS es necesario fijar unos objetivos que maximicen su potencial. En general, el diseño se acometerá atendiendo a cuatro pilares básicos:

- Control de la cantidad de agua
- Control de la calidad del agua
- Fomento de la biodiversidad
- Utilidad ciudadana

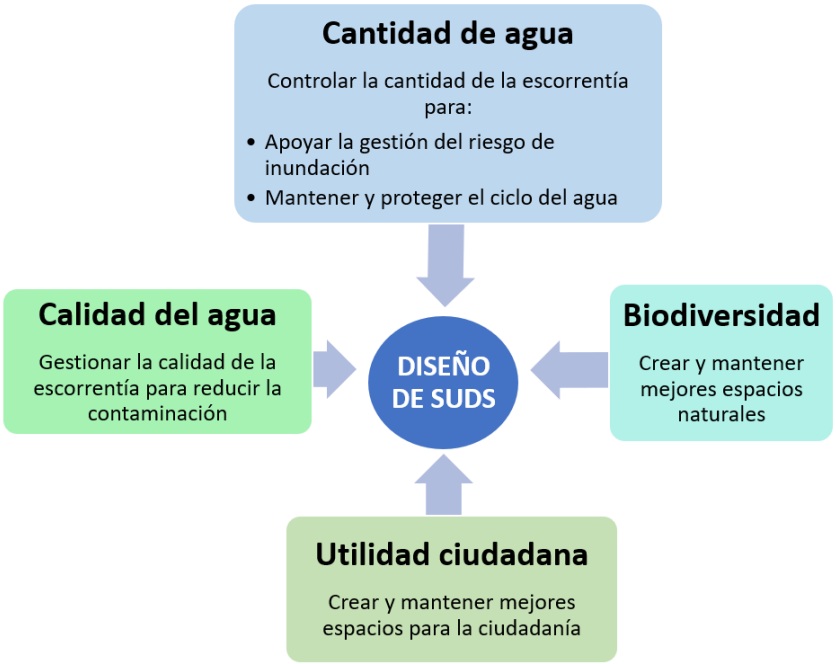


Figura 54. Los cuatro pilares en el diseño de los SUDS. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015).

En conclusión, el diseño del sistema de drenaje sostenible debe **gestionar las escorrentías en origen, en calidad y cantidad, a la vez que incluya beneficios asociados a la ciudadanía y al fomento de la biodiversidad**.

El primer criterio se utilizará para definir las dimensiones necesarias del sistema de drenaje, mientras que los otros tres criterios dirigirán al proyectista hacia unos determinados tipos de SUDS.

Elección del tipo de SUDS

Como ya se ha comentado, las **escorrentías pueden contener una cantidad importante de contaminantes**, especialmente cuando se producen lluvias tras un periodo seco prolongado, como es habitual en València.

El arrastre de contaminantes se concentra en los primeros milímetros de lluvia, en un fenómeno conocido como primer lavado (*first flush*). Por ello, es importante seleccionar técnicas SUDS que proporcionen un nivel de tratamiento adecuado al uso del suelo de la superficie generadora de escorrentía. Es en este punto, donde *The SuDS Manual (2015)* propone la metodología de los índices de mitigación.

Esta metodología simplificada asigna un índice de peligrosidad a los distintos usos del suelo y un índice de mitigación a las distintas técnicas SUDS. De este modo, el nivel de tratamiento proporcionado por los SUDS será adecuado siempre que los índices de mitigación sean mayores o iguales al índice de peligrosidad de las superficies tratadas.

Índice de mitigación (por SUDS en función del contaminante) ≥ Índice de peligrosidad (en función del contaminante)

En caso de que no se cumpla este criterio con una única técnica SUDS, es posible establecer un encadenado de SUDS de modo que se mejore la capacidad de mitigación global. En este supuesto, la capacidad de mitigación del segundo SUDS quedará reducida a la mitad para reflejar que gran parte de la contaminación ya ha sido reducida por el primer SUDS y, en consecuencia, la eficiencia de tratamiento de este segundo SUDS es menor:

Índice de mitigación de contaminación de la cadena de SUDS = Índice de mitigación del SUDS 1 + 0,5 x Índice de mitigación del SUDS 2

Las siguientes tablas recogen los índices de mitigación propuestos para cada técnica SUDS, y los índices de peligrosidad para los usos del suelo más comunes:

Tipología SUDS	Sólidos suspendidos totales	Metales pesados	Hidrocarburos
Cubiertas vegetadas	0,4	0,4	0,4
Parterres inundables (Jardín de lluvia)	0,6	0,5	0,6
Parterres inundables (área de biorretención)	0,8	0,8	0,8
Balsas de detención	0,5	0,5	0,6
Balsas de infiltración (**)	0,6	0,5	0,6
Cunetas vegetadas	0,5	0,6	0,6
Alcorques estructurales	0,6	0,5	0,6
Pavimentos permeables	0,7	0,6	0,7
Drenes filtrantes	0,5***	0,4	0,4
Zanjas y pozos de infiltración	0,5***	0,4	0,4
Depósitos reticulares	*	*	*
Humedales artificiales y estanques	0,8	0,8	0,8

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

** Considerando que dispone de una capa de vegetación densa sobre un sustrato de 300 mm de profundidad. En caso de no disponer de vegetación, el rendimiento se reduce a 0,4-0,3-0,3

*** Siempre que se incluya un geotextil superficial, tal y como se indica en las secciones propuestas.

Tabla 6. Índices de mitigación para las principales técnicas SUDS. Fuente: Adaptado de CIRIA (2015).

Uso del suelo	Nivel de riesgo de contaminación	Sólidos suspendidos totales	Metales pesados	Hidrocarburos
Tejados o cubiertas en una atmósfera limpia.	Bajo	0,2	0,2	0,05
Tejados o cubiertas en una atmósfera contaminada (Industrial y Terciario).	Medio	0,3	0,2-0,8	0,05
Caminos o viales con intensidades de tráfico muy débiles. Pistas deportivas. Zonas impermeables de uso lúdico. Zonas de aparcamiento residenciales. Espacios comunes de zonas residenciales de menos de 50 viviendas. Zonas de estacionamiento con poca renovación.	Bajo	0,5	0,4	0,4
Mercados al aire libre. Zonas comerciales peatonales. Zonas de estacionamiento con renovación media. Zonas residenciales con poco tráfico. Zonas industriales sin contaminantes peligrosos. Viales de capacidad media y baja. Aeródromos de baja intensidad de tráfico. Áreas agropecuarias sin uso de sustancias contaminantes.	Medio	0,7	0,6	0,7
Zonas peatonales o industriales de alta densidad de tráfico. Zonas de estacionamiento de alta renovación. Áreas con alto tráfico de vehículos. Aeródromos con alta intensidad de tráfico. Áreas industriales de acopio que manejen sustancias contaminantes. Áreas vinculadas a EDARs o de tratamiento de RSU. Áreas de actividad agropecuaria con uso de sustancias contaminantes.	Alto	0,8	0,8	0,9

Tabla 7. Índices de peligrosidad según uso del suelo en zonas urbanizadas Fuente: Adaptado de CIRIA (2015).

Adicionalmente, los factores físicos del ámbito de proyecto también pueden hacer que se prioricen unas soluciones frente a otras, así como los objetivos que se quieran cumplir con la implementación de SUDS más allá de su capacidad de gestión de escorrentía. La siguiente tabla resume las características de los distintos SUDS que pueden condicionar la priorización de unos frente a otros según algunos factores físicos:

	En función de la ubicación			En función de los beneficios		
	Forma preferente del área a drenar	Rango de pendientes preferente	Posibilidad de instalación sin permitir infiltración	Eliminación de contaminantes	Valor estético	Valor ecológico
Cubiertas vegetadas	-	-	-	Bajo	Alto	Medio
Parterres inundables - Jardín de lluvia	Indiferente	0-5 %	SI	Medio	Alto	Medio
Parterres inundables - Área de biorretención	Indiferente	0-5 %	SI	Alto	Alto	Medio
Balsas de detención e infiltración	Indiferente	0-1 %	SI	Medio	Alto	Alto
Cunetas vegetadas	Lineal	0,5-5 %	SI	Medio	Medio	Medio
Alcorques estructurales	Lineal	0-10 %	SI	Medio	Medio	Medio
Pavimentos permeables	Indiferente	0-3 %	SI	Alto	Bajo	Bajo
Drenes filtrantes	Lineal	0,5-5 %	SI	Bajo	Bajo	Bajo
Zanjas de infiltración	Lineal	0,5-5 %	NO	Bajo	Bajo	Bajo
Pozos de infiltración	Indiferente	0-10 %	NO	Bajo	Bajo	Bajo
Depósitos reticulares	Indiferente	0-10 %	SI	-	Bajo	Bajo
Humedales artificiales y estanques	Indiferente	0-1 %	NO	Alto	Alto	Alto

Tabla 8. Características físicas preferentes y potencial de beneficios asociados a cada SUDS.

6.4. Dimensionamiento de los SUDS

Una vez se han seleccionado las técnicas SUDS a implementar en el proyecto, se procederá a su dimensionamiento.

Para ello, es importante **reconocer la diversidad de espacios existente en la ciudad** y adaptar los criterios de diseño a las posibilidades que ofrece cada tipología urbana. A partir de la clasificación detallada en el PGOU, se han identificado las **características más relevantes de cada tipología** de cara a albergar SUDS.

En base a las posibilidades disponibles **en cada espacio se ha establecido un criterio de diseño** basado en los percentiles de la serie pluviométrica, optando por criterios ambiciosos en aquellos ambientes que ofrecen mejores espacios de oportunidad, y criterios algo más conservadores en los ambientes menos flexibles. Se ha establecido como mínimo criterio de diseño el V_{60} ya que, en el momento de redacción de esta guía, es el mínimo valor que otorga puntos en las certificaciones LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

En primer lugar, se muestran los criterios de diseño establecidos para aquellas **grandes actuaciones** que engloben tanto espacio público como privado, y que representan una superficie importante (Planes Parciales, Planes de Actuación Integrada...).

Actuaciones a nivel de sector

Tipología urbana	Criterio	V_x (mm)
Centros históricos protegidos	V_{60}	8
Ensanche	V_{60}	8
Edificación abierta	V_{80}	20
Unifamiliar	V_{85}	27
Industrial	V_{80}	20
Terciario	V_{80}	20

Tabla 9. Criterios de dimensionamiento por tipología edificatoria.

Adicionalmente, se exponen los criterios de diseño propuestos para las actuaciones que abarquen exclusivamente el **espacio público**, que queda fuera de las tipologías del plan parcial.

Actuaciones aisladas en espacio público

Tipología urbana	Criterio	V_x (mm)
Parques y jardines	V_{95}	60
Pequeñas vías	V_{60}	8
Grandes vías con medianas ajardinadas	V_{80}	20

Tabla 10. Criterios de dimensionamiento en actuaciones aisladas según tipologías.

Estos criterios de diseño permiten, de un modo simplificado, obtener los volúmenes de almacenamiento necesarios en los SUDS a partir de la cuenca que van a gestionar. El criterio V_x establece los litros por cada metro cuadrado de cuenca que es necesario retener en el SUDS, por lo que el producto de la superficie impermeable y el V_x definirá el volumen necesario en metros cúbicos:

$$V_{nec} = V_x \times A_{imp}$$

Además del volumen de almacenamiento de los SUDS, otro paso importante en su dimensionamiento será el **cálculo de los aliviaderos.** Para ello, **se emplearán las intensidades recogidas en la curva IDF de la Normativa para obras de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de València.**

El cálculo de estos sistemas de alivio deberá realizarse empleando la mayor intensidad cuyo volumen asociado no puede ser retenido en su totalidad por los SUDS planteados. También se deberá calcular el efecto causado por la implantación de los SUDS en los hidrogramas de vertido a las redes existentes. Cualquier reducción en el diámetro requerido para las conducciones como consecuencia de la implantación de los SUDS podrá incluirse en el diseño, siempre y cuando el Ciclo Integral del Agua así lo apruebe de manera expresa.

6.5. Ejemplos de aplicación

Para complementar la exposición de los criterios de diseño, se expondrán a modo de ejemplo dos casos de estudio en la ciudad de València.

Ejemplo 1 – Plaza de Tavernes de la Valldigna

Se propone crear un área de biorretención en la plaza de Tavernes de la Valldigna, empleando unos parterres que se van a construir en la zona como parte de una actuación de regeneración urbana.

De este modo se pretende que las escorrentías generadas por las superficies impermeables cercanas se dirijan a estos parterres donde serán tratadas e infiltradas. La zona de actuación se encuentra enmarcada en el Centro Histórico Protegido, y abarca un área de 2.371 m², de los cuales 2.217 m² se corresponden con el viario y las plazas de aparcamiento, y 154 m² con el nuevo parterre donde se implantará la zona de biorretención.

La zona donde se enmarca la actuación puede considerarse como de peligrosidad media (zona residencial con poco tráfico), por lo que el área de biorretención propuesta debería proporcionar un nivel de tratamiento suficiente.

La siguiente tabla sintetiza los datos de partida del ejemplo.

Datos de partida:		
Tipología urbana	Centro Histórico Protegido	-
Superficie total de la actuación proyectada	2.371 m²	A_{tot}
Superficie correspondiente a viario impermeable	2.217 m²	A_{via}
Superficie correspondiente a jardines	154 m²	A_{jar}
Criterio de diseño	8 mm	V_x
Tipología de SUDS	Parterre inundable – Área de biorretención	-
Área de SUDS	154 m²	A_{suds}
Índice de peligrosidad	Medio Solidos suspendidos: 0,7 Metales pesados: 0,6 Hidrocarburos: 0,7	-
Índice de mitigación SUDS	Área de biorretención Solidos suspendidos: 0,8 Metales pesados: 0,8 Hidrocarburos: 0,8	-

Tabla 11. Resumen de los datos de partida para el dimensionamiento (Ejemplo 1).

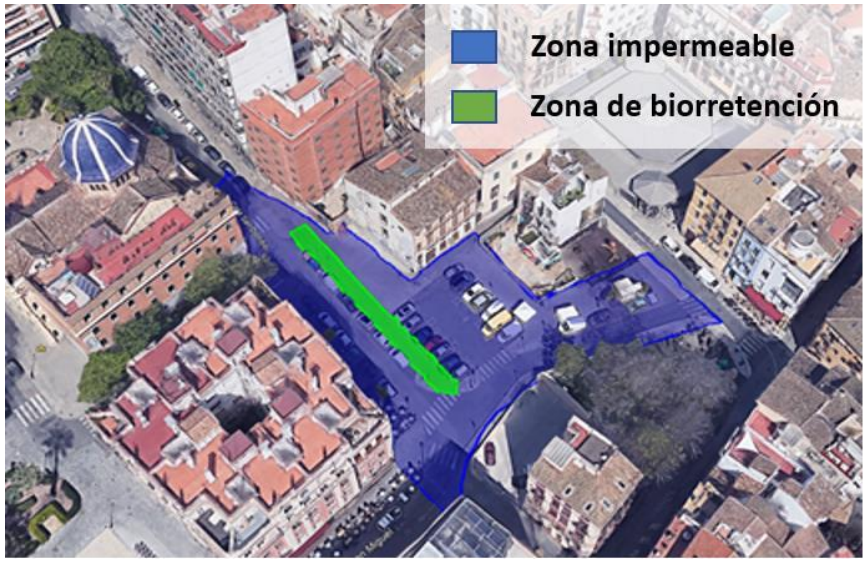


Figura 55. Planta de la zona de actuación en la plaza Tavernes de Valldigna, València.

Con esta información se procede a realizar los cálculos necesarios para dimensionar el parterre inundable a instalar. Para ello, y puesto que la superficie de la zona de biorretención viene dada por el diseño paisajístico, simplemente es necesario obtener la profundidad necesaria para gestionar las escorrentías.

En primer lugar, deberá obtenerse el volumen de almacenamiento necesario, empleando para ello el criterio de diseño (V_x) y la superficie impermeable de la actuación. Esta superficie impermeable puede obtenerse teniendo en cuenta los distintos usos del suelo en la superficie de actuación. Una vez obtenido el volumen necesario, se determinará la profundidad del jardín de lluvia (Z_{suds}). La siguiente tabla muestra los cálculos intermedios desarrollados en este proceso.

Cálculos:		
Superficie impermeable: (A_{via} * 0,95 + A_{jar} * 0,3)	2.153 m^2	A_{imp}
Volumen almacenamiento necesario: (V_x x A_{imp})	17,2 m^3	V_{nec}
Profundidad necesaria de SUDS (V_{nec} / A_{sud})	0,12 m	Z_{sud}

Tabla 12. Resumen de los cálculos de dimensionamiento (Ejemplo 1).

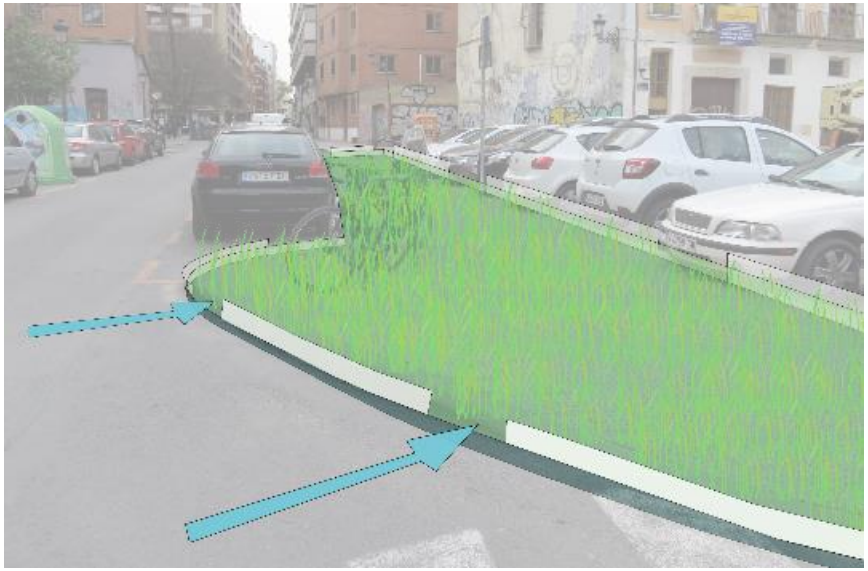


Figura 56. Simulación gráfica de la actuación en la plaza Tavernes de Valldigna, València.

De los cálculos anteriores se desprende que un parterre de 154 m^2 y 0,12 m de profundidad será suficiente para cumplir

con el criterio propuesto. Esta actuación con SUDS supone solamente un 7,15 % de la superficie total de la actuación proyectada, y queda totalmente integrada en el paisaje urbano.

Ejemplo 2 – Jardín en la calle María de Maeztu

Se propone crear un parterre inundable en un parque situado en la calle María de Maeztu, como parte de las obras de rehabilitación de la jardinería. Este jardín de lluvia recibirá las escorrentías generadas en el propio parque, mayoritariamente permeable, y en las zonas peatonales que lo rodean. Al tratarse de una actuación aislada en un parque, se propone utilizar el criterio de diseño V_{95}.

La zona de actuación abarca un área de 760 m^2, de los cuales 375 m^2 se corresponden con la zona ajardinada y 385 m^2 con las zonas peatonales circundantes. El ámbito de trabajo puede considerarse como de peligrosidad baja (zona residencial con poco tráfico), por lo que el jardín de lluvia debe proporcionar un nivel de tratamiento suficiente a las escorrentías, de acuerdo con la metodología de índices de mitigación.

La siguiente tabla resume los datos de partida del caso de estudio:

Datos de partida:		
Tipología urbana	Parques y jardines	-
Superficie total de la actuación proyectada	760 m^2	A_{tot}
Superficie correspondiente a viario impermeable	385 m^2	A_{via}
Superficie correspondiente a zona ajardinada	375 m^2	A_{jar}
Criterio de diseño	60 mm	V_x
Tipología de SUDS	Jardín de lluvia	-
Índice de peligrosidad	Bajo Solidos suspendidos: 0,5 Metales pesados: 0,4 Hidrocarburos: 0,4	-
Índice de mitigación SUDS	Jardín de lluvia Solidos suspendidos: 0,6 Metales pesados: 0,5 Hidrocarburos: 0,6	-

Tabla 13. Resumen de los datos de partida para el dimensionamiento (Ejemplo 2).

Figura 57. Planta de la zona de actuación en el parque de la calle María de Maeztu, València.

Con esta información, y de modo análogo al ejemplo anterior, se obtiene la superficie impermeable equivalente y el volumen necesario en jardín de lluvia. En este caso la superficie del jardín de lluvia no viene fijada por el diseño paisajístico, por lo que el radio de esta constituye otra de las variables de diseño. Se establece que, por seguridad para los usuarios del jardín, la profundidad máxima de la actuación no exceda los 0,5 m.

Para determinar las dimensiones de la zona deprimida, se asumirá un radio y se calculará su superficie. Seguidamente, se obtendrá la profundidad necesaria a partir del volumen de almacenamiento necesario, asegurándose de cumplir con el requisito de profundidad máxima. Asumiendo un radio para la balsa de 5 m, se obtienen los siguientes resultados.

Cálculos:		
Superficie impermeable: (A_{via} * 0,95 + A_{jar} * 0,3)	479 m^2	A_{imp}
Volumen almacenamiento necesario: (V_x x A_{imp})	28,7 m^3	V_{nec}
Radio del jardín de lluvia	5 m	R_{suds}
Área de SUDS (R_{suds}^2 x 3,14)	78,5 m^2	A_{suds}
Profundidad necesaria de SUDS (V_{nec} / A_{sud})	0,37 m	Z_{sud}

Tabla 14. Resumen de los cálculos de dimensionamiento (Ejemplo 2).

De los cálculos anteriores se desprende que un jardín de lluvia de 79 m^2 y 0,37 m de profundidad será suficiente para cumplir con los criterios de diseño propuestos. Esta actuación con SUDS supone solamente un 16,4 % de la superficie total de la actuación proyectada, y permite cumplir con el criterio de diseño más restrictivo.

Figura 58. Simulación gráfica de la actuación en el parque de la calle María de Maeztu, València.

6.6. Diseño y modelización

De acuerdo con lo expuesto a lo largo del capítulo, la siguiente tabla sintetiza los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño de una actuación con SUDS.

Paso	Descripción	Epígrafe
1	Realizar un análisis topográfico para identificar **puntos bajos y vaguadas** en el régimen natural.	6.1.1
2	Analizar la geología y geotecnia para evaluar la **posibilidad de infiltrar** la escorrentía al terreno.	6.1.2
3	A partir del análisis topográfico, identificar las **cuencas drenantes** que se gestionarán en la actuación. A partir de los usos del suelo se calcularán las **áreas impermeables equivalentes.**	6.1.3 Y 6.1.4
4	Evaluar otros condicionantes físicos, como **infraestructuras existentes**, que puedan condicionar el diseño o limitar el espacio disponible.	6.1.5
5	Teniendo en cuenta los puntos de conexión a la red de colectores existente, establecer si existe alguna **limitación de vertido** o geométrica a considerar para el diseño.	6.1.5
6	Atendiendo al Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) identificar la **tipología urbana** donde se va a efectuar la actuación con SUDS.	6.2
7	Seleccionar el tipo de SUDS a implantar teniendo en cuenta los condicionantes físicos existentes y los criterios de calidad de la metodología de los índices de mitigación.	6.3
8	A partir de la localización de la actuación, determinar el criterio de diseño a emplear a partir de la tabla de cuantiles de lluvia.	6.4
9	Calcular las dimensiones del SUDS como se describe en los ejemplos, de modo que su geometría quede totalmente definida.	6.5
10	Dimensionar los aliviaderos y conexiones a la red, empleando la información pluviométrica de la curva IDF de la Normativa para Obras de Saneamiento. Justificar debidamente al Ciclo Integral del Agua la laminación obtenida mediante los SUDS.	6.4
11	Definir las labores de mantenimiento principales a partir de la información mostrada en las fichas y referencias bibliográficas complementarias.	Anexo I

Tabla 15. Resumen de los pasos a seguir para el diseño simplificado de los SUDS.

Cabe destacar que en aquellos proyectos con una superficie igual o superior a los 5.000 m^2, además de la metodología abreviada descrita en la guía, será necesario realizar el diseño empleando herramientas de modelización matemática del drenaje urbano, que permitan un análisis hidrológico-hidráulico del sistema de drenaje propuesto.

Imagen 46. Plaza Lorenzo de la Flor, València.

7. Referencias

7.1. Manuales de referencia

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

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

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.* Enlace

City of Grand Rapids (2016) *Green Infrastructure Guidance.* Enlace

City of Mont Belvieu, Texas (2017). *Supplemental Detention Criteria.* Enlace

City of San Francisco (2016). *Stormwater management requirements and design guidelines.* Enlace

Dickie, S. McMay, G. Ions, L., Shaffer, P. (2010). *C687 planning for SUDS Make it happen.* CIRIA. Enlace

New Jersey Department of Environmental Protection Division of Watershed Management (2021). *NJ Stormwater Best Management Practices Manual.* Enlace

NHBC Foundation (2010). *A simple guide to Sustainable Drainage Systems for housings*. Enlace

The North Carolina Department of Environmental Quality (NCDEQ) (2020). *Stormwater Design Manual*. Enlace

Transport for London (2016). *SuDS in London – a guide*. Enlace

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. Enlace

University of Tennessee, Knoxville, Landscape Architecture Program (2013). *Low impact development opportunities for the Planet Region*. Enlace

Virginia DEQ Stormwater (2013). *Design Specifications No 1-15*. Enlace

Washington DC Department of Transportation (2014). *Greening DC streets*. Enlace

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

7.2. Marco Regulatorio

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 de junio de 2017. Enlace

CTE (2019). *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 RD 732/2019 DE 20 de diciembre (BOE 27/12/2019). Enlace

EEA (2021) *Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction*. Agencia Europea del Medio Ambiente, EEA report N°01/2021. Enlace

España. 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 29 de diciembre de 2016, núm. 314. Enlace

España. Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, *por el que se modifica el Reglamento del Dominion Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo de Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas*. Boletín Oficial del Estado 20 de septiembre de 2012, núm. 227. Enlace

España. Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo de Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, *por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas*. Boletín Oficial del Estado 29 de marzo de 1996, núm. 77. Enlace

España. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, *por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas*. Boletín Oficial del Estado 24 de julio de 2001, núm. 176. Enlace

European Commission (2020). *Ecosystem services and green infrastructure*. Recuperado el 15 de enero de 2021 de Enlace

European Commission (2020). *Nature-Based Solutions: State of Art in EU-funded Projects*. Enlace

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 noviembre de 2015 Enlace

Generalitat Valenciana (2015) Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana. Enlace

Unión Europea. Comisión Europea, Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre el *Pacto Verde Europeo*, 11 diciembre 2019, COM (2019) 640 final. Enlace

Unión Europea. Directiva (UE) 2007/60 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007 *relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación*. Diario Oficial de la Unión Europea L 288 del 6 de noviembre de 2007. Enlace

Unión Europea. Directiva (UE) 2006/118 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006 *relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro*. Diario Oficial de la Unión Europea L 372 del 27 de diciembre de 2006. Enlace

Unión Europea. Directiva (UE) 2006/7 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006 *relativa a la gestión de la calidad de aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE*. Diario Oficial de la Unión Europea L 64 del 4 de marzo de 2006. Enlace

Unión Europea. Directiva (UE) 2000/60 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 *por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. Diario Oficial de la Unión Europea L 327, 22 de diciembre de 2000. Enlace

Valencia. Ordenanza Municipal, de 14 enero de 2016, *por la que se aprueba definitivamente la Ordenanza Reguladora de Saneamiento*. Boletín Oficial de la

Provincia de Valencia núm. 21 del 10 de febrero de 2016. Enlace

7.3. Proyectos

Guilló Peral, I. (2017). *Proyecto de Reurbanización Jardín Lorenzo De La Flor.* Enlace

Gustafson, K.; Muelas, I.; Checa, D.; Borgos, E. (2014). *Parque Central De València (A.4/1).* Enlace

Jesús Troyano Ingeniería (2016). *Proyecto de construcción de carril bici en Manuel Candela-Tomás de Montaña.*

Quintana Seguí, E. (2016). *Jardí Ermita de Sant Jeroni.*

Tamayo, S. (2018). *Ejecución de plaza ajardinada en avda. de los Naranjos, esquina con c/ Luis Peixó* Enlace

7.4. Otros

BRE (2017). *Digest 365 – Soakaway design.*

City of Emeryville (2005). *Stormwater quality solutions for the city of Emeryville; Stormwater solutions for Green, Dense Redevelopment.* Enlace

Hattum, T. van, Blauw, M., Bergen Jensen, M., & de Bruin, K. (2016). *Towards Water Smart Cities: climate adaptation is a huge opportunity to improve the quality of life in cities.*

Huntingdonshire District Council (2017). *Design Guide.* Enlace

NACTO (2016) Global Street Design Guide Enlace

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

Polypipe (2016) *Permavoid System Technical Manual.* Enlace

Rice Creek Watershed District (2020). Water Quality, Best Management Practices. Recuperado el 9 de febrero de 2021 de Enlace

University of New Hampshire Stormwater Center. (2009) *Biannual Report.* Enlace

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

Imagen 47. Plaza Amparo Arce, València.

Anejo: Fichas SUDS

CUBIERTAS VEGETADAS

Las cubiertas vegetadas están formadas por un conjunto de capas que permiten la implantación de vegetación sobre el tejado. El paquete vegetado recibe las escorrentías de la cubierta, filtrándolas y almacenándolas temporalmente en el sistema de drenaje, donde el agua se emplea como riego pasivo. Los excedentes son descargados a través de bajantes.

Existen dos tipos principales de cubiertas vegetadas en función del tipo de vegetación implantada:

- En las **cubiertas extensivas** se implanta vegetación herbácea o de plantas crasas tipo sédum que requieren un espesor de sustrato de entre 3 y 20 cm. Habitualmente no son transitables y ocupan una gran parte de la superficie del tejado.

- En las **cubiertas intensivas**, sin embargo, se puede implantar vegetación arbustiva e incluso arbórea requiriendo espesores de sustrato de más de 20 cm.

Fuente: University of Tennessee (2013).

1. Vegetación de cubierta intensiva **2.** Vegetación de cubierta extensiva **3.** Sustrato: profundidad variable en función de si la cubierta es intensiva o extensiva **4.** Filtro **5.** Sistema de drenaje **6.** Barrera antiraíces **7.** Aislamiento **8.** Sistema de impermeabilización **9.** Estructura del edificio

BENEFICIOS

Control de caudal pico	💧		
Control del volumen de escorrentía	💧	💧	
Mitigación de la contaminación	🍃	🍃	
Valor ecológico	🍃	🍃	🍃
Valor estético	⚙	⚙	⚙
Multifuncionalidad de la actuación	⚙	⚙	⚙

FUNCIONES

Retención

Detención

ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

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

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	📍	Ensanche	📍
Edificación Abierta	📍	Unifamiliar	📍
Industrial	📍	Terciario	📍
Red de viario	📍	Parques y jardines	📍

Óptimo	📍	Posible	📍
Desaconsejable	📍	Incompatible	📍

Características principales

- Se pueden incorporar en edificios ya construidos o de nueva construcción, y permiten reducir el volumen de escorrentía sin ocupar espacio adicional en la ciudad.
- Funciona como aislante térmico del edificio al proporcionar sombra y reflejar la radiación, reduciendo así la demanda energética por climatización.
- Contribuyen a la mejora la calidad del aire absorbiendo CO_2 además de algunos contaminantes en el aire y el polvo.
- Crean un espacio verde urbano visitable y de recreo; y un hábitat para aves e insectos.
- Para mantener una vegetación duradera esta puede requerir riegos puntuales.
- Puede ser necesario reforzar la estructura del edificio debido al aumento de carga causado por la cubierta.
- Deben implantarse en cubiertas con pendiente no superior al 25 %.

Cubierta vegetada en Benaguasil (Valencia).

Criterios de Diseño

Se recomienda que su **extensión** cubra entre el 50 y el 80 % de la superficie, dejando un remanente para instalaciones y accesos. En cubiertas con inclinaciones inferiores al 5% se recomienda incluir un sistema de drenaje que evite el encharcamiento. Pendientes superiores al 25 % requieren de elementos auxiliares que impidan la pérdida de sustrato.

Para su implantación, también deben evaluarse los patrones de lluvia, la inclinación de la cubierta, las sombras de edificios colindantes, la exposición al viento y otros factores que puedan suponer una limitación al crecimiento de las plantas.

En cuanto a los **materiales**, el sustrato debe ser permeable y ligero, con un contenido en arcillas y limos inferior al 20 % además de un contenido en materia orgánica y nutrientes que debe sr estricto y muy controlado que para evitar lixiviados contaminados. Los soportes estructurales se dimensionarán considerando que la cubierta se encuentra completamente saturada.

Para las **plantaciones** se recomiendan especies autóctonas, resistentes a periodos húmedos y secos, y lo más autosuficientes posible. Deben requerir poco mantenimiento y pueden incluir opcionalmente un sistema de riego.

No se requieren elementos para la **entrada de agua**, ni de pretratamiento, ya que la lluvia cae directamente sobre la cubierta. Cuando la cubierta se sature, la **salida de agua** se efectuará mediante sumideros y bajantes, que capten tanto la escorrentía superficial de la cubierta como las salidas de la capa de drenaje. El diseño debe minimizar el riesgo de bloqueo de estos elementos de salida, incluyendo rejas o capas de gravas filtrantes.

Mantenimiento

Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Vegetación	Mantenimiento general de las plantaciones, incluyendo poda y recogida de los deshechos generados (ramas, recortes, etc.).	Crecimiento no uniforme de la vegetación.	Trimestral / a demanda
	Eliminación de la vegetación no deseada.	Presencia abundante de vegetación invasora y no deseada.	Semestral
	Resiembra y sustitución de marras, valorando cambios en las especies plantadas siempre que se mantengan las funciones de la cubierta.	Aparición de plantas muertas y zonas despobladas.	Anual
	Riego. Adaptar a las necesidades de las especies. Atención especial los dos primeros años.	Sequedad excesiva en el sustrato y la vegetación.	A demanda
Superficie	Retirada de deshechos y limpieza de la cubierta.	Acumulación de hojas y basuras.	Anual
	Realizar ensayo de permeabilidad para asegurar la evacuación del agua en 24 horas.	Encharcamiento prolongado después de un evento de lluvia.	Bienal
Entrada y salida	Inspección periódica y retirada de sedimentos de los elementos de rebose y entrada de agua.	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Anual
Otros	Inspección en busca de daños estructurales, erosión o goteras. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias, vientos o tormentas eléctricas.	Anual/ a demanda

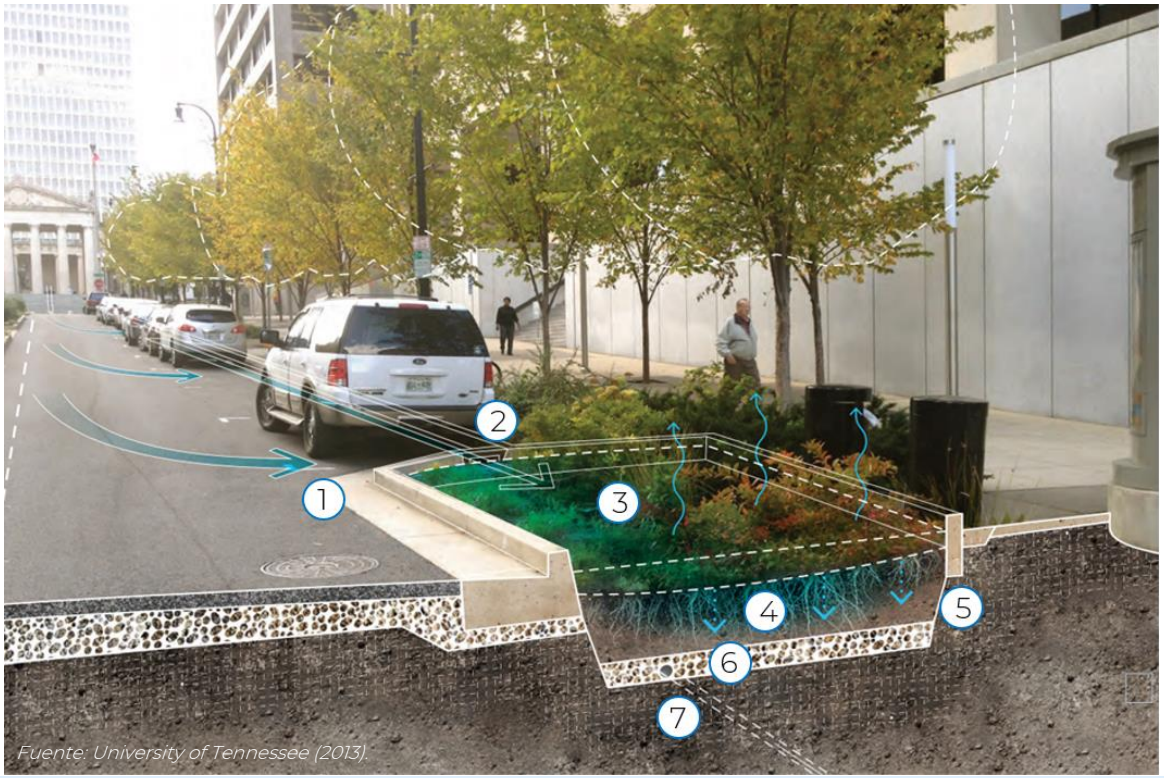
PARTERRES INUNDABLES

Los parterres inundables son zonas con vegetación que se encuentran rebajadas con respecto a las superficies adyacentes. Están pensadas para recibir escorrentías de áreas impermeables próximas, y favorecer su tratamiento y laminación. También pueden permitir la infiltración del agua al terreno natural, tras ser tratada, o incorporar un drenaje subsuperficial que evacue de manera controlada el volumen almacenado.

Según la calidad de las aguas que reciben y el espesor del medio filtrante, se clasifican en:

- Jardines de lluvia. Reciben escorrentías con niveles de contaminación bajos (cubiertas, zonas peatonales...). El espesor del medio filtrante suele estar entre 0,3-0,5 m.

- Áreas de biorretención. Reciben escorrentías con altos niveles de contaminación (zonas con tráfico rodado). La capa del medio filtrante está entre 0,8 y 1,0 m.



Fuente: University of Tennessee (2013).

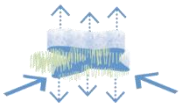
1. Escorrentía procedente de zonas impermeables adyacentes **2.** Dispositivo de entrada de escorrentía **3.** Vegetación y capa de mantillo o suelo acolchado **4.** Medio filtrante **5.** Geotextil o geomembrana (si fuese necesaria) **6.** Capa drenante **7.** Tubo dren (si fuese necesario)

BENEFICIOS

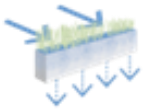
Control de caudal pico	💧	💧	
Control del volumen de escorrentía	💧	💧	
Mitigación de la contaminación	🍃	🍃	🍃
Valor ecológico	🍃	🍃	🍃
Valor estético	⚙	⚙	⚙
Multifuncionalidad de la actuación	⚙	⚙	⚙

FUNCIONES

Tratamiento



Infiltración



ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,6 – 0,8
Metales	0,5 – 0,8
Hidrocarburos	0,6 – 0,8

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	🟢	Ensanche	🟢
Edificación Abierta	🟢	Unifamiliar	🟢
Industrial	🟢	Terciario	🟢
Red de viario	🟢	Parques y jardines	🟢

Óptimo	🟢	Posible	🟡
Desaconsejable	🔴	Incompatible	⚪

Características principales

- Son adecuados para zonas con contaminantes presentes en la escorrentía, al proporcionar un buen nivel de tratamiento.
- Si es posible la infiltración, contribuyen a reducir el volumen de escorrentía, además de laminar los caudales vertidos.
- Pueden integrarse fácilmente en una ciudad consolidada al requerir poco espacio.
- Son sencillos de instalar y presentan un bajo coste.
- Contribuyen a la mejora del paisaje urbano y permiten la creación de nuevos hábitats.
- Permiten formas variadas dando pie a la creatividad arquitectónica.
- Pueden constituir una barrera física entre el viario y las zonas peatonales, incrementando la seguridad vial.
- Las plantaciones asociadas contribuyen a la mejora de la calidad del aire.
- Deben implantarse en zonas con poca pendiente o dotarlos de represas intermedias.

Jardines de lluvia en Bon Pastor, Barcelona.

Criterios de Diseño

Se recomienda la siguiente **geometría**: el ancho debe ser > 0,6 m (mejora la constructibilidad), las pendientes laterales deben ser más tendidas de 1V:3H (para evitar la erosión) y la profundidad no suele exceder los 0,3 m. La base debe ser tan plana como sea posible, y en caso de existir una pendiente longitudinal importante pueden utilizarse pequeñas represas de materiales diversos.

En cuanto a los **materiales**, el medio filtrante debe tener un alto contenido en arena de sílice, de modo que la permeabilidad del mismo esté comprendida entre 100 y 300 mm/h. Para la capa de transición pueden emplearse capas con granulometrías intermedias que ejerzan de filtro o geotextiles de unas características apropiadas, de modo que se impida su colmatación o rotura. En el diseño se considerará solamente la capacidad de almacenamiento superficial.

Para las **plantaciones** se recomiendan especies autóctonas, que cubran el sistema con gran densidad (6-10 plantas/m^2). Las especies deben resistir condiciones extremas de inundación y sequía, y deben ser preferentemente de hoja perenne.

La **entrada de agua** al parterre puede realizarse con bordillos intermitentes (minimizan la erosión e impiden la entrada de tráfico rodado). También se aconseja un área de vegetación densa en la entrada que sirva de pretratamiento y disipación de energía. Para los eventos extremos deben instalarse estructuras de rebose que permitan la descarga controlada a la red.

Para permitir la **infiltración**, la permeabilidad debe ser > 10^{-6} m/s (asegurando el vaciado en 48 horas), y el nivel freático debe estar 1 m por debajo de la base del parterre. Debe haber una separación suficiente con las cimentaciones cercanas.

Mantenimiento

Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Vegetación	Mantenimiento general de las plantaciones, incluyendo poda y recogida de los desechos generados (ramas, recortes, etc.).	Crecimiento no uniforme de la vegetación.	Mensual / A demanda
	Riego. Adaptar a las necesidades de las especies. Atención especial los dos primeros años.	Sequedad excesiva en el sustrato y en la vegetación.	A demanda
	Resiembra y sustitución de marras, valorando cambios en las especies plantadas siempre que se mantengan las funciones del parterre.	Aparición de plantas muertas y zonas despobladas.	Anual
Superficie	Retirada de deshechos y limpieza general del parterre.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos.	Mensual
	Reparación y mejora de la protección en los puntos de entrada de agua.	Erosión localizada excesiva.	A demanda
	Realizar ensayo de permeabilidad para diagnosticar la colmatación del medio filtrante.	Encharcamiento prolongado tras un evento de lluvia.	Bienal
Entrada y salida	Inspección periódica y retirada de sedimentos de los elementos de rebose y entrada de agua.	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Mensual
Otros	Inspección en busca de daños estructurales o de erosión. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias.	Semestral / A demanda

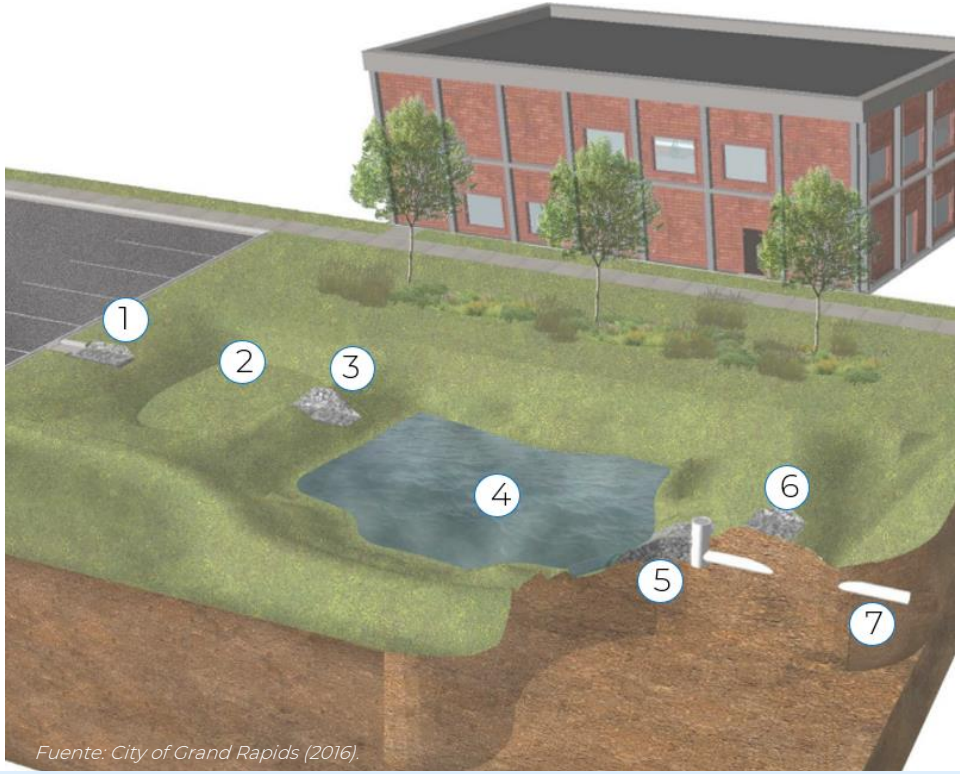
BALSAS DE DETENCIÓN E INFILTRACIÓN

Son depresiones del terreno que permiten el almacenamiento temporal de agua de lluvia, permitiendo laminar la escorrentía y, en su caso, infiltrarla. La detención de la escorrentía favorece la precipitación de los sedimentos arrastrados. En la mayoría de los casos estas depresiones se vegetan, aumentando el valor paisajístico además de favorecer la precipitación de sedimentos y el tratamiento de la escorrentía. Existen dos tipos de balsas según su función principal:

- Balsas de detención: son aquellas construidas sobre materiales impermeables y que evacúan la escorrentía laminada a través de un desagüe controlado.

- Balsas de infiltración: se ubican en terrenos permeables, y posibilitan la infiltración de las escorrentías recibidas.

Las balsas están diseñadas para drenar completamente entre 24 y 48 horas, evitando así la cría de mosquitos y permitiendo su funcionalidad en eventos de lluvia recurrentes.



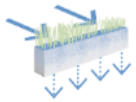
Fuente: City of Grand Rapids (2016).

1. Entrada protegida con disipador de energía **2.** Vaso de sedimentación **3.** Conexión entre vasos protegida con escollera **4.** Lámina de agua temporal **5.** Elemento de control de salida **6.** Aliviadero de emergencia. **7.** Conexión a la red de drenaje

BENEFICIOS

Control de caudal pico	●	●	●
Control del volumen de escorrentía	●	●	○
Mitigación de la contaminación	●	●	○
Valor ecológico	●	●	●
Valor estético	●	●	●
Multifuncionalidad de la actuación	●	●	○

FUNCIONES

Detención	Infiltración
	

ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

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

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	🔴	Ensanche	🔴
Edificación Abierta	🟢	Unifamiliar	🟢
Industrial	🟢	Terciario	🟡
Red de viario	🔴	Parques y jardines	🟢

Óptimo	🟢	Posible	🟡
Desaconsejable	🔴	Incompatible	○

Características principales

- Contribuyen a controlar la calidad de la escorrentía al favorecer la sedimentación. Además, laminan los caudales punta y, si permiten la infiltración, pueden reducir el volumen de escorrentía de manera muy significativa.
- A pesar de ser SUDS que ocupan bastante superficie, pueden incorporarse con facilidad gracias a su versatilidad en forma y apariencia.
- Son elementos multifuncionales que pueden servir como parques o áreas de recreo en tiempo seco.
- Son infraestructuras muy accesibles, lo que facilita su mantenimiento, especialmente para la retirada de sedimentos.
- Las balsas vegetadas pueden contribuir a la biodiversidad creando diferentes hábitats.
- Para el mantenimiento de la vegetación deben evitarse fertilizantes y herbicidas que puedan contaminar al subsuelo.

Balsa de infiltración en Moura, Barcelona.

Criterios de Diseño

La **geometría** de la balsa puede dividirse en dos vasos (como se observa en la infografía) para concentrar la sedimentación en uno de ellos (lo que facilita las labores de mantenimiento). Las pendientes máximas en los laterales son de 3H:1V y la relación longitud/ancho suele estar entre 3:1 y 5:1. Debe considerarse el acceso sencillo para mantenimiento. La base de las balsas de infiltración debe ser plana, mientras que las de detención deben incluir una ligera pendiente hacia la salida. Los calados en las balsas suelen ser superiores a los 0,50 m, y es aconsejable dejar un resguardo de 0,30 m cuando sea posible.

La **entrada de agua** debe incluir elementos de disipación de energía que impidan la erosión. También se puede considerar un pretratamiento que minimice los requisitos de mantenimiento de la balsa y mejore su eficiencia de eliminación de contaminantes.

En cuanto a la **salida del agua**, en el caso de las balsas de detención, se recomienda emplear válvulas de vórtice en el caso de que el conducto requerido para la laminación sea muy pequeño y genere riesgo de obstrucción. También es importante instalar una rejilla que evite la entrada sólidos gruesos que puedan obturar el conducto, y elementos de disipación que dificulten la erosión. En el caso de las balsas de infiltración, su implantación es recomendable en terrenos con permeabilidades superiores a 10^{-6} m/s, con distancias superiores a 1 m con respecto al nivel freático. En todos los casos deben incluirse estructuras de alivio que permitan evacuar controladamente el exceso de escorrentía cuando se alcance cierto nivel de servicio.

La **vegetación** incluida en las balsas debe estar adaptada a las condiciones de encharcamiento y ser preferiblemente autóctona. En los taludes de la balsa se puede incluir vegetación que sirva de pretratamiento de la escorrentía. En la base es preferible que la vegetación sea densa por su capacidad filtrante y para evitar la erosión y el lavado de la base de la balsa.

Mantenimiento

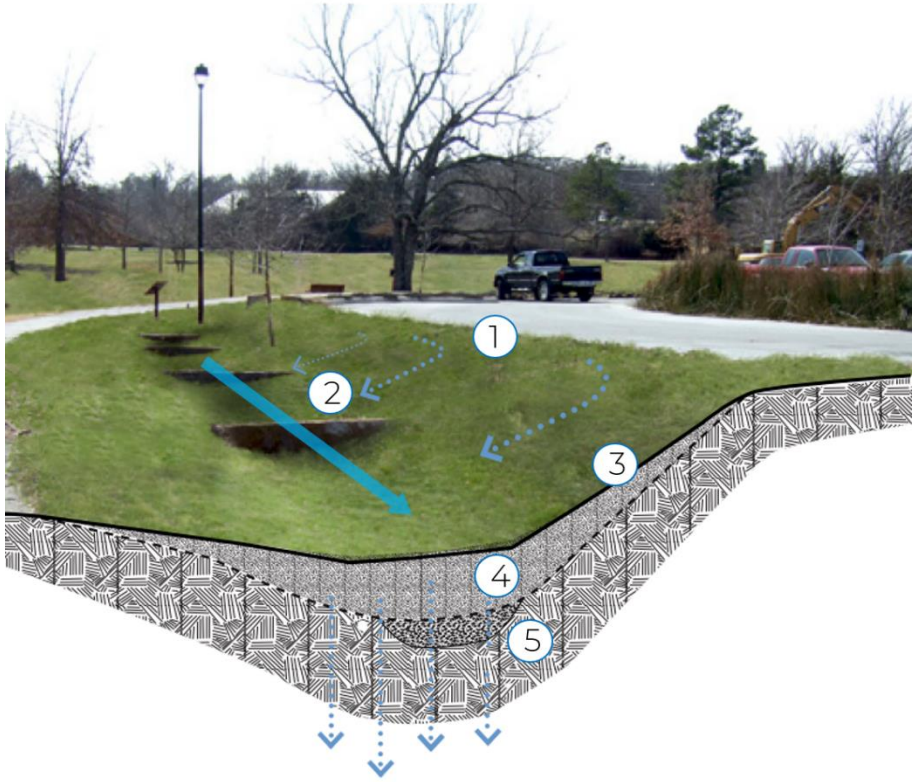
Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Vegetación	Mantenimiento general de las plantaciones, incluyendo poda, corte de césped y recogida de los desechos generados (ramas, recortes, etc.).	Crecimiento no uniforme de la vegetación.	Mensual / A demanda
	Riego. Adaptar a las necesidades de las especies. Atención especial los dos primeros años.	Sequedad excesiva en el sustrato y en la vegetación.	A demanda
	Resiembra y sustitución de marras. Reposición de vegetación en taludes.	Aparición de plantas muertas y zonas despobladas en taludes.	Anual
Superficie	Retirada de deshechos y limpieza general de la balsa.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos.	Mensual
	Reparación de la superficie y mejora de la protección en los puntos de entrada de agua.	Erosión localizada excesiva.	A demanda
	Inspección de taludes y superficies, restableciendo los niveles definidos en el diseño, si fuese necesario.	Encharcamiento, inestabilidad de taludes o acumulación localizada de sedimentos.	A demanda
Entrada y salida	Inspección periódica y retirada de sedimentos de los elementos de rebose y entrada de agua.	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Mensual
Otros	Inspección técnica en busca de daños en las estructuras de entrada y salida, taludes, disipadores, vallas u otros elementos de la balsa. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias.	Semestral / A demanda

CUNETAS VEGETADAS

Son canales abiertos de poca profundidad, recubiertos de vegetación, que reciben las escorrentías de zonas impermeables adyacentes. Su principal función es el transporte y tratamiento de estas escorrentías, permitiendo también su infiltración si fuese posible.

La profundidad de la lámina de agua en las cunetas es somera, y va acompañada generalmente de pendientes suaves que posibiliten el transporte de las aguas hacia otros SUDS u otros elementos del drenaje urbano. El flujo suele tener velocidades bajas, que favorezcan el filtrado gracias a la vegetación y, en su caso, la infiltración. Si las pendientes son elevadas, pueden incluirse represas que reduzcan la velocidad del flujo y favorezcan la infiltración.

La entrada de las escorrentías a las cunetas se suele hacer de forma homogénea por los laterales. Las pendientes laterales serán suaves, de modo que se minimice la erosión y se distribuyan los contaminantes por la zona vegetada lateral.



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

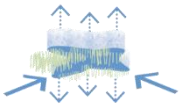
1. Entrada lateral de las escorrentías **2.** Represas para reducción de velocidad (opcional, según pendiente longitudinal) **3.** Pendientes laterales suaves (máxima pendiente 1V:3H) **4.** Medio filtrante **5.** Capa drenante (conducto drenante opcional)

BENEFICIOS

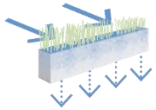
Control de caudal pico	💧	💧	
Control del volumen de escorrentía	💧		
Mitigación de la contaminación	🍃	🍃	🍃
Valor ecológico	🍃	🍃	🍃
Valor estético	⚙	⚙	
Multifuncionalidad de la actuación	⚙	⚙	

FUNCIONES

Tratamiento



Infiltración



ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

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

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	📍	Ensanche	📍
Edificación Abierta	📍	Unifamiliar	📍
Industrial	📍	Terciario	📍
Red de viario	📍	Parques y jardines	📍

Óptimo	📍	Posible	📍
Desaconsejable	📍	Incompatible	📍

Características principales

- Tienen una buena capacidad de reducción de la contaminación, siendo una opción adecuada como pretratamiento para la entrada a otros SUDS de detención o infiltración.
- La vegetación seleccionada debe proporcionar un buen nivel de cobertura que favorezca el tratamiento. Para el mantenimiento de la vegetación se debe evitar el uso de fertilizantes y de pesticidas ya que pueden contaminar la escorrentía.
- Permiten captar y transportar la escorrentía de forma sencilla y económica en zonas de pendientes bajas (pero no completamente llanas).
- Precisan de un ancho mínimo para asegurar una pendiente tendida de los taludes, por lo que no se recomienda su implantación en zonas con alta densidad de edificación.
- Para aumentar la capacidad de infiltración de las cunetas y su rendimiento de eliminación de sedimentos, se pueden incluir represas transversales que ralenticen el flujo favoreciendo la sedimentación y la infiltración.
- Si se colocan en zonas con tráfico, como aparcamientos, se puede requerir la colocación de bordillos que protejan la vegetación y eviten afecciones en la cuneta.

Cuneta vegetada con represas en Xàtiva (Valencia).

Criterios de Diseño

Se recomienda la siguiente **geometría**: la sección más común es trapezoidal, por su eficiencia en construcción, funcionamiento y mantenimiento. La base suele ser de entre 0,5 y 3 m, aunque puede variar; Para la pendiente longitudinal se recomiendan valores entre 0,5 y 5 %. Para pendientes de más del 3 % es recomendable incluir elementos de contención transversal. Por otro lado, si las pendientes son inferiores al 1,5 %, y no es posible la infiltración, se deben considerar conductos drenantes en la base. Las pendientes laterales deben ser tendidas (1V:3H o 1V:4H si es posible), reduciendo las posibilidades de erosión y facilitando el mantenimiento.

Los **elementos de contención transversal** o represas permiten el aumento de la laminación y de la infiltración, y posibilitan la instalación de cunetas vegetadas en zonas con pendientes de hasta un 10 %. Estas represas se pueden construir con pequeños muros de gaviones, hormigón o de madera, y deben alcanzar los laterales para que no se produzca el bypass. Además, deben instalarse disipadores de energía que minimicen la erosión en la propia cuneta cuando se produzca el rebase de estas represas.

La **entrada de agua** se efectuará de manera lateral y del modo más distribuido posible. La **salida del agua** de la cuneta se debe hacer de forma segura en todos los escenarios, ya sea a otro SUDS o a la red de drenaje convencional. Las cunetas deben tener una capacidad suficiente y asegurar el vaciado en 48 h como máximo, contando con aliviaderos para eventos extremos.

Le **vegetación** incluida será la responsable del tratamiento de la escorrentía, esta será preferiblemente autóctona, adaptada al clima local y con capacidad de soportar encharcamiento y altas densidades de plantación además de contar con capacidad fitorremediadora.

Mantenimiento

Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Vegetación	Mantenimiento general de las plantaciones, incluyendo poda, corte de césped, etc. Mantener la altura de la vegetación dentro del rango de diseño (10-15 cm).	Crecimiento no uniforme de la vegetación.	Mensual / A demanda
	Riego. Adaptar a las necesidades de las especies. Atención especial los dos primeros años.	Sequedad excesiva en el sustrato y la vegetación.	A demanda
	Resiembra y sustitución marras. Reposición de la vegetación en zonas de entrada de agua.	Aparición de plantas muertas y zonas despobladas.	Anual
Superficie	Retirada de deshechos y limpieza general de la superficie de la cuneta.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos.	Mensual
	Reparación de la superficie y la protección en puntos de entrada de agua. Restaurar la vegetación.	Erosión localizada excesiva.	A demanda
	Reperfilado y nivelado de la cuneta, restableciendo los niveles y secciones definidos en el diseño.	Encharcamiento, inestabilidad de taludes o acumulación localizada de sedimentos.	Decenal / A demanda
Entrada y salida	Inspección periódica y retirada de sedimentos de los elementos de rebose y entrada de agua.	Obstrucción de las entradas o desbordamiento.	Mensual
Otros	Inspección técnica en busca de daños en las estructuras de entrada y salida, taludes, represas u otros elementos de la cuneta. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias.	Semestral / A demanda

ALCORQUES ESTRUCTURALES

Los alcorques estructurales se componen de un suelo estructurado (ya sea con estructura geo-celular o sin ella) que sirve de soporte para el crecimiento de las raíces y como almacenamiento temporal de las escorrentías. Además este suelo posee capacidad portante y permite el tránsito sobre él.

Según la tipología de suelo estructural, los alcorques pueden clasificarse en:

- Alcorques con material granular. Se componen de una mezcla de tierra vegetal y material granular que proporciona capacidad portante. El material granular más grueso evita la compactación y distribuye las cargas derivadas del tránsito.
- Alcorques con geoceldas de polipropileno. Estos incluyen una estructura portante que se rellena de sustrato y que permite el correcto desarrollo de las raíces.

Fuente: Adaptado de University of Tennessee (2013).

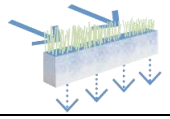
1. Entrada de escorrentía de zonas impermeables adyacentes **2.** Árbol **3.** Protección del alcorque **4.** Tierra vegetal para desarrollo de raíces **5.** Estructura geocelular rellena de material granular **6.** Geotextil o geomembrana (si es necesaria) **7.** Capa de gravas **8.** Conducto drenante

BENEFICIOS

Control de caudal pico	●	○	○
Control del volumen de escorrentía	●	●	○
Mitigación de la contaminación	●	●	○
Valor ecológico	●	●	●
Valor estético	●	●	○
Multifuncionalidad de la actuación	●	●	●

FUNCIONES

Infiltración



Detención

ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

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

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	Óptimo	Ensanche	Óptimo
Edificación Abierta	Óptimo	Unifamiliar	Posible
Industrial	Posible	Terciario	Óptimo
Red de viario	Óptimo	Parques y jardines	Posible

Óptimo	Óptimo	Posible	Posible
Desaconsejable	Desaconsejable	Incompatible	Incompatible

Características principales

- Permiten el correcto desarrollo de las raíces del árbol, facilitando la disponibilidad de agua, aire, materia orgánica y nutrientes. Además, se evita el levantamiento del acerado por la acción de las raíces.
- Reducen el caudal pico de manera moderada, y por ello no se recomiendan como única solución para grandes cuencas.
- Es posible instalar servicios a través de ellos, pero se recomienda una adecuada planificación considerando todos los servicios existentes.
- Cuando se permite el tránsito sobre ellos debe realizarse una adecuada evaluación de la capacidad portante para evitar la compactación del terreno.
- El pavimento ubicado junto al alcorque puede requerir de una lámina impermeable que proteja la calzada.
- Mejoran la biodiversidad y tienen un impacto visual muy positivo.

Alcorques estructurales en Bon Pastor, Barcelona.

Criterios de Diseño

El **diseño** debe evitar la compactación y permitir el desarrollo correcto de las raíces, teniendo en cuenta los requisitos de cada especie. Adicionalmente, debe garantizarse que el agua pueda fluir libremente por gravedad para que las raíces no se aneguen, y que el volumen de almacenamiento consiga los objetivos establecidos en el diseño. Si fuese necesario, se puede contar con un almacenamiento superficial en la zona no transitable alrededor del tronco de unos 15 cm de profundidad; también la superficie entre alcorques puede ser cubierta con pavimentos permeables de modo que se obtenga un almacenamiento adicional. También es recomendable incluir un pozo de ventilación-inspección, que permita monitorizar la lámina de agua.

La **especie arbórea** a incluir debe poseer una demanda hídrica significativa y presentar capacidad de filtración de contaminantes. En general serán especies de follaje denso. También han de soportar condiciones de estrés por sequía y encharcamiento. En general, al ser ubicaciones urbanas, deben ser especies de crecimiento rápido, larga duración y ramificación vertical.

En el caso de que la permeabilidad sea $\geq 10^{-6}$ m/s se podrá considerar la evacuación de la escorrentía por **infiltración**. En este caso se debe asegurar una distancia mínima de 1 m entre la base del sistema y el nivel freático. En las zonas donde el espacio de almacenamiento temporal sea limitado, se podrá incluir un elemento de infiltración vertical que favorezca el flujo de agua. En caso de no ser posible infiltrar las escorrentías sobrantes se evacuarán mediante una tubería perforada. Para facilitar la **salida de agua** en los casos en que se exceda la capacidad de diseño, se podrá instalar un aliviadero que cumpla esta función a la vez que garantice las necesidades hídricas del árbol. Para aumentar la resiliencia del sistema se pueden conectar alcorques entre sí creando una red de almacenamiento secundaria. Esta red puede estar intercalada en superficie por pavimentos permeables de modo que se distribuya la entrada de agua a las zonas de almacenamiento, y se facilite su filtración.

Mantenimiento

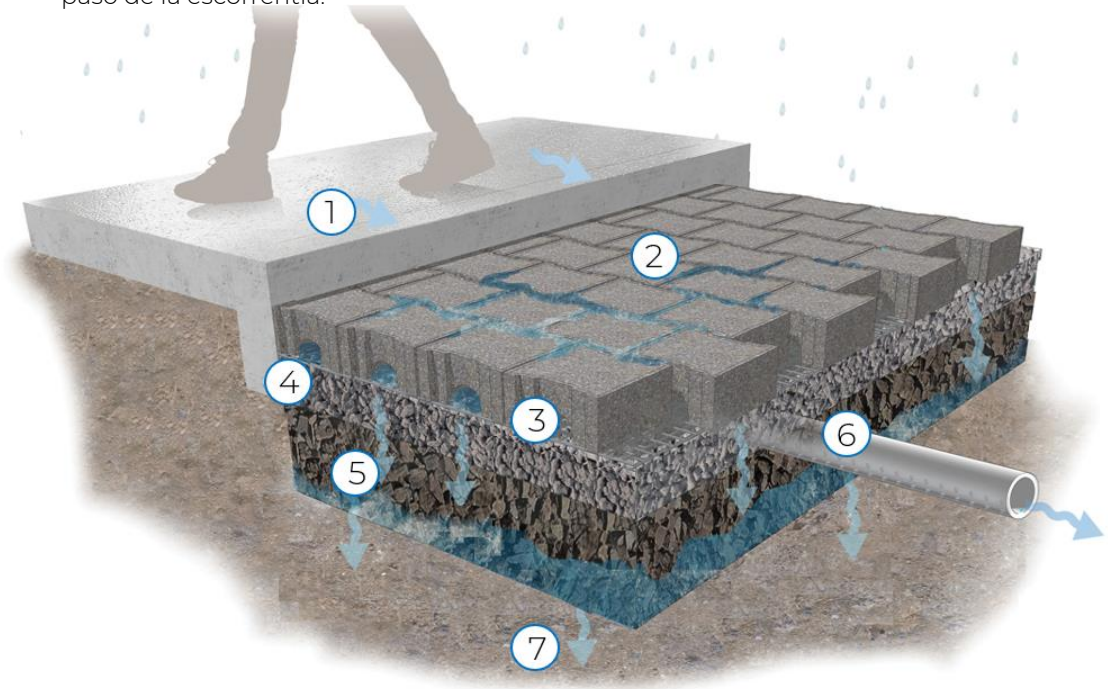
Elementos de observación	Actividad a realizar	Indicar de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Vegetación	Riego. Adaptar a las necesidades de las especies. Atención especial los dos primeros años.	Sequedad excesiva en el sustrato y en la vegetación.	A demanda
	Mantenimiento general del árbol, incluyendo poda y recogida de los desechos generados.	Crecimiento no uniforme del follaje.	Semestral
	Verificación de la salud del árbol. Plantear medidas correctoras si proceden.	Falta de estabilidad, pérdida de hojas o presencia abundante de insectos.	Anual
Superficie	Retirada de deshechos y limpieza general de la superficie del alcorque.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos.	Mensual
	Plantear sustitución del suelo vegetal si se ha producido una pérdida de permeabilidad por colmatación y el drenaje no puede producirse en 48 horas.	Encharcamiento y drenaje lento.	Bienal / A demanda
	Limpieza del pavimento del alcorque y reparación de grietas que pudiesen afectar al firme.	Encharcamiento, pérdida de permeabilidad del pavimento o levantamiento del acerado o el firme.	A demanda
Entrada y salida	Inspección periódica y retirada de sedimentos de los elementos de rebose y entrada de agua.	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Mensual
Otros	Inspección técnica en busca de daños en las estructuras de entrada y salida y elementos de protección del árbol y el alcorque. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias.	Anual / A demanda

PAVIMENTOS PERMEABLES

Los pavimentos permeables permiten la filtración de la escorrentía a zonas de almacenamiento temporal subterráneo, a la vez que permiten el paso de personas o vehículos sobre ellos. Este almacenamiento puede proporcionarse mediante gravas, celdas o cajas reticulares, desde donde la escorrentía puede infiltrarse al terreno o descargarse de manera controlada. Los pavimentos se clasifican en función del tipo de superficie permeable:

- Pavimentos permeables por junta: son aquellos que estan formados por un material impermeable, pero cuya geometría y/o instalación permite dejar juntas que se rellenan con vegetación, gravas u otros materiales que permitan el paso del agua. Las unidades estructurales de este tipo de pavimentos son habitualmente adoquines de distintos materiales, normalmente hormigón o cerámica.

- Pavimentos porosos: son aquellos cuya superficie está cubierta enteramente por un material poroso que permite la filtración de la escorrentía en toda su superficie. Esta puede estar formada por materiales como asfalto permeable, hormigón permeable o sistemas de mallas y geoceldas rellenas de terreno vegetado o grava que permiten el paso de la escorrentía.



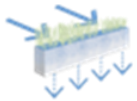
Fuente: Alameda County Flood Control & Water Conservation District (2021).

1. Escorrentía de áreas impermeables adyacentes **2.** Pavimento de adoquín permeable por junta **3.** Capa de apoyo **4.** Capa de transición con gravas medianas **5.** Capa de almacenamiento con gravas gruesas **6.** Conducto drenante **7.** Infiltración al terreno

BENEFICIOS

Control de caudal pico	💧	💧	💧
Control del volumen de escorrentía	💧	💧	💧
Mitigación de la contaminación	🍃	🍃	🍃
Valor ecológico	🍃	🍃	🍃
Valor estético	⚙	⚙	⚙
Multifuncionalidad de la actuación	⚙	⚙	⚙

FUNCIONES

Infiltración	Detención
	

ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

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

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	📍	Ensanche	📍
Edificación Abierta	📍	Unifamiliar	📍
Industrial	📍	Terciario	📍
Red de viario	📍	Parques y jardines	📍

Óptimo	📍	Posible	📍
Desaconsejable	📍	Incompatible	📍

Características principales

- Permiten reducir el caudal pico, gracias a su capacidad de laminación, y mejorar la calidad de las escorrentías a través de su capacidad de retención de contaminantes. Cuando es posible la infiltración también reducen el volumen total de escorrentía vertida.
- Pueden hacer más segura la conducción al reducir el tiempo que la escorrentía está sobre el pavimento, previniendo problemas de visibilidad o patinaje. Sin embargo, no son aconsejables en zonas de tráfico intenso.
- Pueden crearse bandas de pavimentos permeables junto a otras superficies que no lo sean, de modo que las escorrentías de estas se gestionen en los pavimentos permeables.
- No son recomendables en zonas con gran producción de sedimentos finos, ya que se puede producir la obturación de los huecos y, en consecuencia, un mal funcionamiento. En estos casos es necesaria una rehabilitación con maquinaria específica.
- Su puesta en obra puede ser compleja y se requiere de equipos muy especializados.

Pavimentos permeables en el Parc Esplai de Bétera (Valencia).

Criterios de Diseño

Para su **diseño** deben considerarse varios factores: en primer lugar, debe evitarse que existan cuencas vertientes sin pavimentar o con áreas vegetadas que puedan aportar muchos finos o sedimentos que causen la colmatación del pavimento; se prestará igualmente atención a la presencia de arbolado de hoja caduca y flor de pequeño tamaño que pueda obstruir la superficie del pavimento. Por lo general, la relación superficie impermeable / permeable no debe exceder 2:1.

El tipo de pavimento y sus capas se deben seleccionar en función del uso y de las cargas de tráfico esperadas. En general han de tener una permeabilidad inicial de 4.500 mm/h como mínimo y, al realizar el diseño en detalle, a dicha permeabilidad se le aplicará un factor reductor de 10 para tener en cuenta la colmatación a largo plazo. La subbase del pavimento se dimensionará de forma que tenga la suficiente capacidad portante y pueda almacenar el volumen de escorrentía de diseño. El dispositivo de salida, bien por infiltración o por conducción debe permitir su evacuación en menos de 48 h. En zonas donde las pendientes sean elevadas (>3 %) se suelen incluir terrazas (o barreras de flujo) que aumenten el volumen de almacenamiento temporal. En cambio, en las zonas planas en las que no se cuente con infiltración, se debe crear cierta pendiente en la subbase, al menos 0,5 %, de forma que se favorezca el transporte de la escorrentía.

La **entrada de escorrentía** se producirá por el propio pavimento, y es necesario instalar geotextiles que eviten la migración del gravillín de las capas superiores.

La **salida de la escorrentía** puede ser mediante la infiltración o empleando un conducto de salida que posibilite la descarga controlada. Se podrá considerar la infiltración de la escorrentía al subsuelo cuando la permeabilidad del terreno sea ≥ 10^{-6} m/s, y en estos casos se instalará un geotextil adicional entre la subbase y el terreno natural. Además, la preparación del terreno tiene que ser meticulosa, de forma que se evite su compactación durante la instalación de los pavimentos ya que podría disminuir su permeabilidad.

En caso de evacuación controlada mediante conducto, deberá rodearse el sistema con una geomembrana impermeable y flexible si existe riesgo de presencia de contaminantes en la escorrentía, si el nivel freático está a menos de 1 m de la base del sistema o si se espera un aprovechamiento del agua.

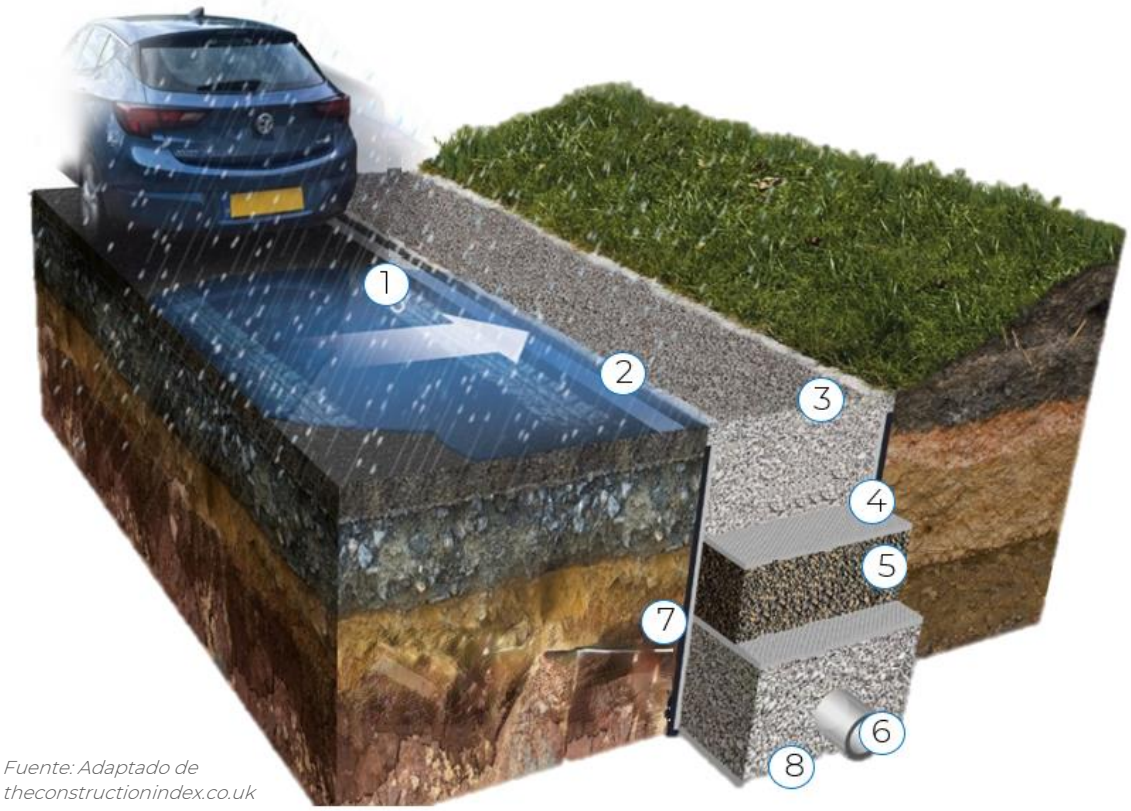
Mantenimiento

Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Superficie	Barrido en seco, especialmente en otoño y primavera. Retirada de deshechos y limpieza general de la superficie del firme.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos.	Semestral
	Inspección de las juntas en busca de evidencias de colmatación o vegetación no deseada.	Encharcamiento y pérdida de permeabilidad. Aparición de hierbas no deseadas.	Semestral
	Reparación de grietas y defectos que comprometan la seguridad vial.	Aparición de grietas y roderas en el asfalto.	A demanda
	Remplazo del material de las juntas para que recupere sus propiedades originales.	Encharcamiento y drenaje lento.	A demanda
	Rehabilitación de la superficie del firme y de la subbase, de modo que su succionen los sedimentos que hayan podido colmatar estas capas.	Encharcamiento y drenaje lento.	Cada 10-15 años
Otros	Restitución de los niveles de las tierras adyacentes que se hayan podido elevar sobre el nivel del pavimento.	Acumulación de sedimentos procedentes de zonas anexas.	A demanda

DRENES FILTRANTES

Los drenes filtrantes son zanjas de poca profundidad, rellenas de material granular, y que cuentan con conducto drenante en su base para facilitar el transporte y distribución de las escorrentías. Generalmente reciben escorrentía de las áreas adyacentes, que entra lateralmente, se filtra y se almacena temporalmente en el material de relleno (gravas o cajas reticulares de polipropileno).

Además del conducto que facilita el transporte y distribución de la escorrentía, en algunos casos puede incluirse un segundo tubo que sirva de rebose a la red de drenaje. En caso de que se quiera garantizar la estanqueidad, debe incluirse una geomembrana que envuelva el paquete de material granular. Para prolongar su vida útil, es aconsejable instalar un geotextil independiente a poca profundidad que retenga gran parte de los finos.



Fuente: Adaptado de theconstructionindex.co.uk

1. Entrada de escorrentía lateral **2.** Elemento de contención discontinuo **3.** Capa de gravas superficial **4.** Geotextil envolviendo la capa superficial de gravas **5.** Capa de gravas u otro material de relleno. **6.** Conducto drenante (dren perforado) **7.** Geomembrana perimetral para aislar el sistema (opcional) **8.** Infiltración (si es posible)

BENEFICIOS

Control de caudal pico	●	●	○
Control del volumen de escorrentía	●	○	○
Mitigación de la contaminación	●	●	○
Valor ecológico	●	○	○
Valor estético	●	○	○
Multifuncionalidad de la actuación	●	○	○

FUNCIONES

Filtración	Detención

ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,5
Metales	0,4
Hidrocarburos	0,4

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	Posible	Ensanche	Posible
Edificación Abierta	Posible	Unifamiliar	Óptimo
Industrial	Óptimo	Terciario	Óptimo
Red de viario	Óptimo	Parques y jardines	Óptimo

Óptimo	Óptimo	Posible	Posible
Desaconsejable	Desaconsejable	Incompatible	Incompatible

Características principales

- Mejoran la calidad de la escorrentía al reducir los contaminantes por filtración.
- El almacenamiento temporal permite la laminación de los caudales pico. Además, tienen una gran superficie de captación y permiten el transporte de la escorrentía.
- Tienen forma lineal por lo que son idóneos para caminos o carreteras, ya sea en terrenos permeables o impermeables, pudiendo sustituir elementos de drenaje convencional.
- Permiten su ubicación en zonas con baja permeabilidad y se recomiendan en zonas con bajas pendientes.
- No son recomendables en cuencas con gran aportación de finos, por su riesgo de colmatación. En estos casos se recomienda incluir un pretratamiento a través de franjas de vegetación, y la inspección regular para asegurar el correcto funcionamiento.
- Son económicos y consumen poco espacio.

Drenes filtrantes en Crevillent (Alicante).

Criterios de Diseño

La **geometría** de los drenes filtrantes es habitualmente lineal, y se instalan de forma paralela a las superficies que drenan. Es recomendable emplazarlos en zonas con pendientes de hasta el 5 %, siempre que la base de la zanja no exceda el 2 %. Pendientes mayores requerirán barreras transversales que aumenten el volumen de tratamiento y disminuyan la velocidad. Los drenes también pueden emplearse para transportar la escorrentía hacia otras técnicas. Como es habitual, se debe asegurar el vaciado del sistema en 48 horas.

Las **dimensiones** de la zanja deben tener en cuenta el volumen de diseño. Habitualmente cuentan con una profundidad de entre 1 y 2,50 m, con un ancho variable en función del diámetro del conducto drenante y el recubrimiento lateral. Son recomendables secciones cóncavas que permitan la concentración de la escorrentía en el dren. De cara al correcto funcionamiento del sistema a largo plazo, deben considerarse bolardos o bordillos que protejan las zanjas cuando estas se encuentran próximas a zonas de viario.

El **material de relleno** de la zanja debe permitir la percolación del agua y la eliminación de contaminantes, pero a la vez no favorecer el bloqueo de la infraestructura por colmatación. En general los materiales de la zona de almacenamiento serán gravas (30 % de índice de huecos) o celdas reticulares de polipropileno (90 % de índice de huecos). Independientemente del material de relleno, se empleará una capa de gravas superficial de 0,20 m sobre un geotextil que permitirá la retención de contaminantes, reducirá el riesgo de colmatación y facilitará el mantenimiento.

El **conducto** perforado que permitirá el transporte de la escorrentía se ubicará en la base de la zanja, y puede ocupar todo el recorrido de la zanja o únicamente el tramo final. También es posible añadir un segundo conducto perforado, en una cota superior, que actúe como rebose. Si el conducto drenante tiene una longitud mayor de 50 m se recomienda la instalación de arquetas de registro intermedias.

Mantenimiento

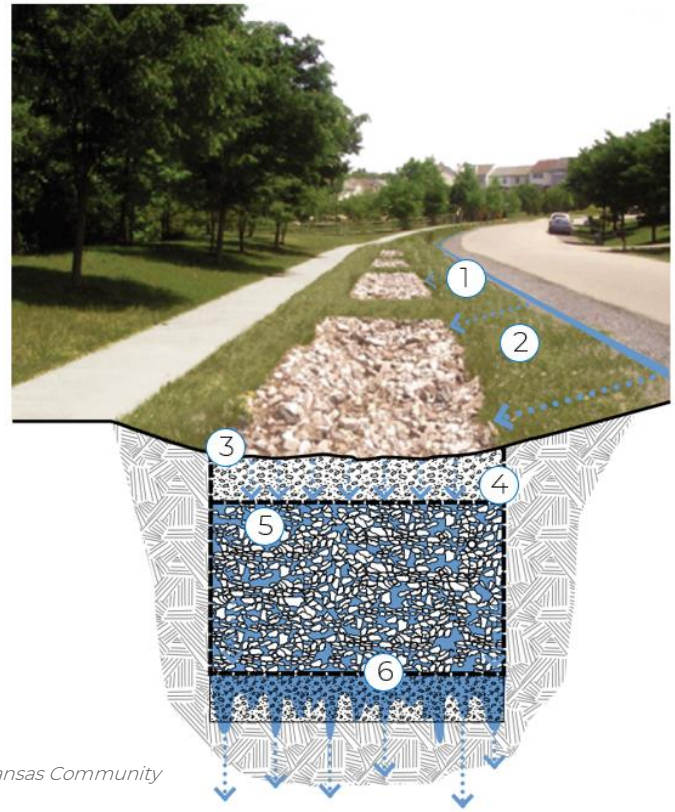
Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Superficie	Reparación de la superficie de los drenes y mejora de la protección en los puntos de entrada de agua.	Erosión localizada excesiva.	Semestral
	Retirada de deshechos y limpieza general de la superficie de los drenes y de la zona de pretratamiento.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos.	Mensual
	Inspección de la superficie de infiltración en busca de zonas colmatadas. Comprobación de que el vaciado de los drenes puede realizarse en 48 horas.	Encharcamiento y drenaje lento.	Decenal / A demanda
	Retirada y sustitución de los primeros 20 cm de gravas y del geotextil superficial.	Encharcamiento y drenaje lento.	Decenal
Entrada y salida	Inspección periódica y retirada de sedimentos de los elementos de rebose y entrada de agua.	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Semestral
	Desbloqueo del conducto drenante.	Obstrucción de las salidas, aparición de charcos o desbordamiento.	A demanda
Otros	Inspección técnica en busca de daños en las estructuras de entrada y salida, u otros elementos del dren filtrante. Comprobación de la integridad del geotextil, especialmente si hay árboles cercanos. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias.	Semestral / A demanda

ZANJAS Y POZOS DE INFILTRACIÓN

Las zanjas y pozos de infiltración son sistemas de drenaje que permiten la captación, filtrado y almacenaje temporal de la escorrentía, para su posterior infiltración al terreno. Esta capacidad de almacenamiento la logran al estar rellenas de un material con un alto porcentaje de huecos. También deben incluir un geotextil superficial que facilite su mantenimiento. Según su forma geométrica se dividen en:

- Zanjas: técnicas lineales poco profundas que pueden estar recubiertas de vegetación, grava o arena.

- Pozos: perforaciones verticales profundas. Pueden instalarse sin revestir, donde la excavación se rellena de material drenante; o revestidos, donde la estructura del pozo se refuerza mediante ladrillo panal o anillos de hormigón perforados.



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

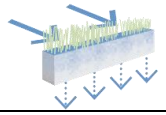
1. Entrada lateral de escorrentía **2.** Franja vegetada de pretratamiento **3.** Capa de gravas **4.** Capa de geotextil **5.** Gravas o material drenante sintético **6.** Infiltración al terreno

BENEFICIOS

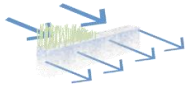
Control de caudal pico	●●●
Control del volumen de escorrentía	●●●
Mitigación de la contaminación	●●○
Valor ecológico	●○○
Valor estético	●○○
Multifuncionalidad de la actuación	●○○

FUNCIONES

Infiltración



Filtración



ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,5
Metales	0,4
Hidrocarburos	0,4

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	Óptimo	Ensanche	Óptimo
Edificación Abierta	Posible	Unifamiliar	Óptimo
Industrial	Óptimo	Terciario	Óptimo
Red de viario	Óptimo	Parques y jardines	Óptimo

Óptimo	Óptimo	Posible	Posible
Desaconsejable	Desaconsejable	Incompatible	Incompatible

Características principales

- Permiten reducir de forma significativa el volumen de escorrentía, infiltrándolo al terreno y mejorando la recarga de los acuíferos.
- Aunque tienen cierta capacidad de filtración, el correcto diseño ha de asegurar que la carga de contaminantes no sea excesiva, de forma que se evite la contaminación de los acuíferos.
- Son sistemas versátiles que permiten ser colocados en una gran variedad de ubicaciones. Las zanjas suelen colocarse junto a elementos lineales como caminos o viales.
- En general, son fáciles de construir y operar, con un bajo coste de construcción y mantenimiento.
- Para evitar la colmatación se recomienda colocar una capa superficial de 20 cm de gravas y un geotextil de sacrificio que se pueda limpiar y reemplazar si es necesario.
- No se recomienda su ubicación en zonas muy cercanas a árboles y plantaciones, ya que la intrusión de raíces puede afectar negativamente al sistema.

Zanja de infiltración en Alcalá de Guadaira (Sevilla).

Criterios de Diseño

En cuanto a la **geometría**, la pendiente de las zanjas no debe exceder el 3 %, siendo mejor cuanto más horizontal. Si la pendiente es mayor se pueden colocar barreras transversales para aumentar el volumen de almacenamiento. Las zanjas habitualmente cuentan con un ancho mínimo de 0,30 m por razones constructivas. En el caso de los pozos el diámetro suele variar entre 1 y 3 m; en cuanto a la profundidad, los pozos revestidos pueden llegar hasta los 4 m, y los no revestidos suelen estar entre 1 y 2 m. Para proteger la estructura puede incluirse un bordillo perimetral.

La **entrada de escorrentía** se debe de hacer de forma controlada y, en los casos en los que se espere un flujo abundante, pueden incluirse elementos de disipación de energía. En el caso de los pozos, se puede considerar incluir una rejilla que impida la entrada de elementos gruesos y sedimentos al sistema. De forma complementaria, aquellos sistemas que se encuentren en zonas con tráfico y sin protección superficial, pueden contar con bordillos perimetrales que los protejan. El almacenamiento temporal se puede hacer con gravas con un índice de huecos del 30 % o con estructuras de polipropileno con un 90 %.

La **infiltración** al terreno se puede considerar si la permeabilidad es mayor de 10^{-6} m/s y si el nivel freático se encuentra 1 m por debajo de la zona de depósito. No debe considerarse la infiltración en suelos inestables o en suelos contaminados. Adicionalmente, se debe asegurar un rebose a la red de alcantarillado para eventos de gran magnitud. En el caso de las zanjas, puede incluirse un tubo dren que facilite la distribución de la escorrentía a lo largo del sistema. En cuanto a la vegetación, esta puede ser útil como franja de pretratamiento, y puede contribuir a evitar la colmatación del sistema. Sin embargo, si la vegetación es arbórea o arbustiva con abundantes raíces, estas pueden reducir el rendimiento del sistema.

Mantenimiento

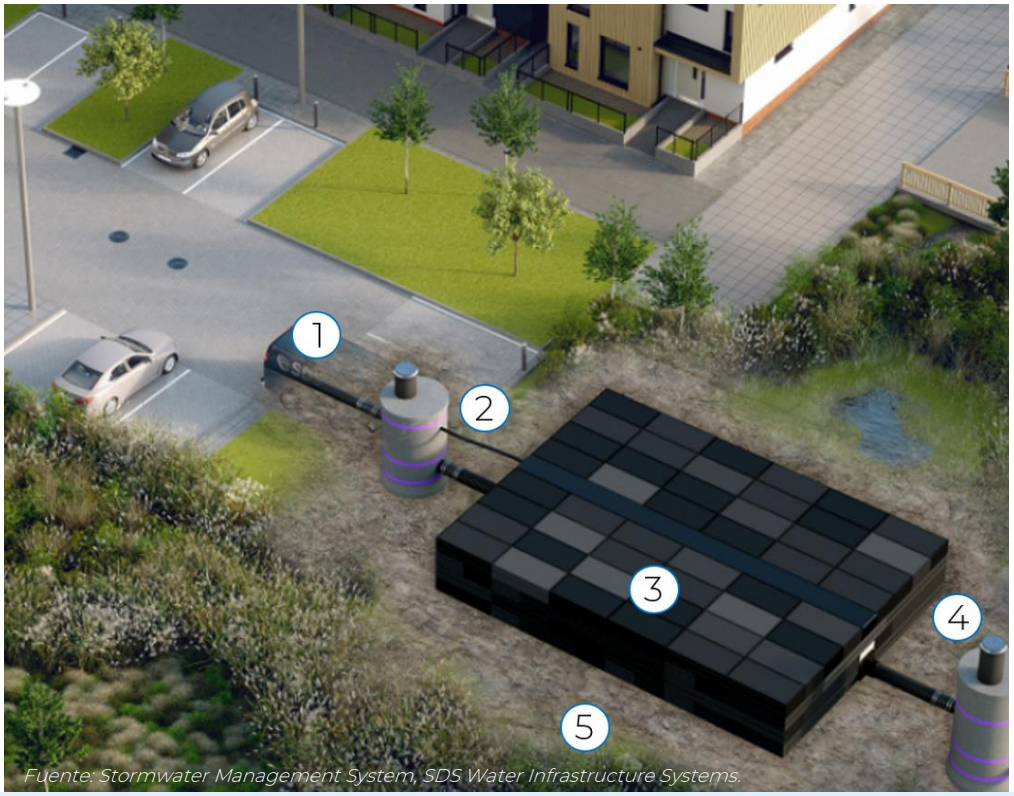
Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Superficie	Inspección de la superficie de infiltración en busca de sedimentación excesiva o zonas colmatadas. Limpieza en su caso.	Encharcamiento prolongado tras un evento de lluvia.	Anual
	Comprobar que el vaciado de la zanja o el pozo puede producirse en 48 horas.	Encharcamiento prolongado tras un evento de lluvia.	Anual
	Retirada y sustitución de los primeros 20 cm de gravas y del geotextil superficial.	Encharcamiento y drenaje lento.	Decenal
Entrada y salida	Inspección periódica de los pozos, rejas, elementos de rebose, dispositivos de pretratamiento y elementos de entrada de agua. Limpieza y retirada de sedimentos.	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Mensual
	Inspección de los elementos de entrada de agua en busca de cárcavas. Mejora de la protección en los puntos de entrada de agua, si fuese necesario.	Erosión localizada excesiva.	Anual
Otros	Inspección técnica en busca de daños en las estructuras de entrada y salida, u otros elementos de la zanja o el pozo. Comprobación de la integridad del geotextil, especialmente si hay árboles cercanos. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias.	Anual / A demanda

DEPÓSITOS RETICULARES

Los depósitos reticulares son estructuras subterráneas de laminación de escorrentía que permiten su almacenamiento temporal, y su posterior infiltración al subsuelo o descarga controlada a la red.

Estos depósitos están formados por estructuras de polipropileno reticuladas que se apilan y ensamblan formando un gran volumen de almacenamiento, gracias a su elevado índice de huecos (superior al 90%). Además, estas estructuras presentan gran capacidad portante, lo que les permite ser instaladas bajo todo tipo de superficies.

Los depósitos no proporcionan ningún tratamiento a las escorrentías (más allá de favorecer la deposición de sedimentos, que puede ser contraproducente), por lo que es necesario instalar algún SUDS o dispositivo de tratamiento aguas arriba de esta actuación, que permita un filtrado previo a la infiltración.



Fuente: Stormwater Management System, SDS Water Infrastructure Systems.

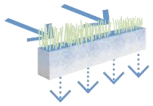
1. Entrada desde la red de drenaje **2**. Dispositivo de tratamiento (separador hidrodinámico o similar) **3**. Estructura de cajas reticulares de polipropileno **4.** Dispositivo de control de vertido a la red (válvula de vórtice o similar) **5.** Infiltración al terreno (cuando sea posible)

BENEFICIOS

Control de caudal pico	●●●
Control del volumen de escorrentía	●●●
Mitigación de la contaminación	●●●
Valor ecológico	●●●
Valor estético	●●●
Multifuncionalidad de la actuación	●●●

FUNCIONES

Infiltración



Detención

ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

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

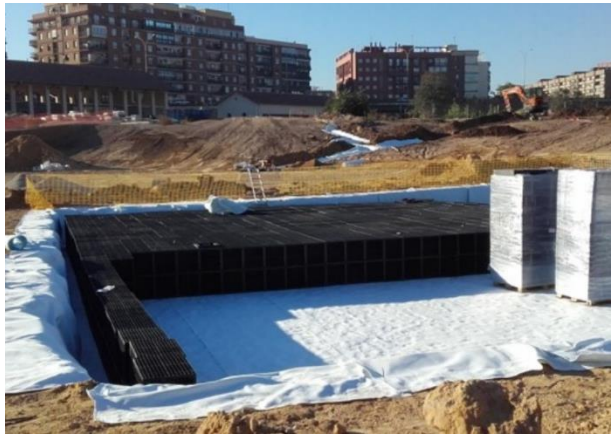
POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	Óptimo	Ensanche	Óptimo
Edificación Abierta	Óptimo	Unifamiliar	Óptimo
Industrial	Óptimo	Terciario	Óptimo
Red de viario	Posible	Parques y jardines	Óptimo

Óptimo	Óptimo	Posible	Posible
Desaconsejable	Desaconsejable	Incompatible	Incompatible

Características principales

- Si permiten la infiltración, presentan una gran capacidad de reducción de volúmenes de escorrentía y recarga de acuíferos. Es imprescindible un tratamiento previo para evitar la contaminación. Así mismo, poseen una alta capacidad de laminación de caudales.
- Se pueden ubicar en proyectos con espacio limitado, y se adaptan bien a las condiciones del terreno. Al ser subterráneos, permiten otros usos del suelo sobre ellos. No obstante, no aportan valor estético o una mejora de la biodiversidad.
- Por sus características modulares, no se precisa maquinaria pesada para su instalación y su montaje es rápido y sencillo.
- Tienen capacidad portante y se pueden colocar bajo viales con baja intesidad de tráfico, aparcamientos, áreas recreativas, etc. No se recomiendan en zonas con tráfico denso de vehículos pesados.
- Al ser subterráneos, las inspecciones rutinarias de mantenimiento resultan más complejas.



Depósito reticular en el Parc Central, València.

Criterios de Diseño

Para **evitar la colmatación** se pueden tomar las siguientes medidas: combinar con otros SUDS aguas arriba que faciliten la sedimentación, como áreas de biorretención, cunetas o balsas de detención; crear un almacenamiento en superficie con gravas, o un pavimento permeable que facilite la filtración; y/o incluir separadores hidrodinámicos, filtros compactos u otro tipo de tecnología que permita la filtración de la escorrentía.

La **geometría** del sistema debe ser lo más simple posible, evitando dificultades en la instalación del geotextil que aumenten el riesgo de entrada de tierras al depósito.
La base de la instalación debe de ser llana, de forma que la escorrentía se distribuya de forma uniforme, y la cama de gravas suele tener entre 0,10 y 0,20 m de espesor.

Las **cajas reticulares** poseen un índice de huecos del 90 % (según fabricante), valor que permite el cálculo del volumen útil. En todo caso, se ha de considerar la incorporación de módulos con cámaras de tratamiento (sacrificio), inspección y mantenimiento. Adicionalmente, debe realizarse un análisis estructural que asegure que el sistema resiste las cargas a las que se someta. En caso de un nivel freático somero, debe considerarse la flotación.

La **salida del agua** debe ser controlada y asegurar el vaciado en 48 h, que puede ser a través de un conducto o por infiltración. Si se hace por infiltración, la permeabilidad del terreno debe ser mínimo de 10^{-6} m/s y el nivel freático estar al menos 1 m por debajo de la base del depósito. De todos modos, debe incluirse un aliviadero de emergencia para los eventos superiores al de diseño.

Mantenimiento

Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Depósitos	Limpieza de sedimentos, hojas y basuras de la zona de influencia del depósito.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos en el interior del depósito.	Mensual
	Comprobar que el vaciado del depósito puede producirse en 48 horas.	Acumulación de agua prolongada en el interior del depósito tras un evento de lluvia.	Semestral
	Inspección en busca de daños en el interior y alrededores del depósito, prestando atención a daños estructurales o zonas encharcadas.	Aparición de grietas y roderas en la superficie del terreno.	Semestral
	Inspección del interior del depósito en busca de sedimentos y zonas colmatadas. Limpieza en su caso.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos en el interior del depósito.	5 años
Entrada y salida	Inspección periódica de los pozos, elementos de rebose, dispositivos de pretratamiento y elementos de entrada de agua. Limpieza y retirada de sedimentos.	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Anual
	Revisión y remplazo del medio filtrante de la superficie de filtración, en caso de que esté colmatado.	Aumento del tiempo de vaciado.	A demanda
Otros	Inspección técnica en busca de daños en las estructuras de entrada y salida, dispositivos de tratamiento u otros elementos del depósito. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias.	A demanda

HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES

Los humedales artificiales y los estanques son masas de agua artificiales creadas para mejorar la calidad de las escorrentías y reducir su volumen. Están formados por una lámina de agua permanente, que sirve como soporte para la biodiversidad, y un volumen variable que permite almacenar temporalmente las escorrentías.

La principal diferencia entre los humedales y los estanques es que la función principal de los primeros es la mejora de la calidad del agua, mientras que en los segundos el objetivo es controlar grandes volúmenes de escorrentía y reducir el caudal pico.

Tanto los humedales como los estanques presentan vegetación acuática y perimetral como forma de tratamiento. Esta vegetación facilita la sedimentación, filtra los nutrientes y contaminantes y favorece la oxidación.

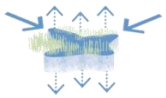
Fuente: City of Mont Belvieu, Taxas (2017).

1. Entrada de escorrentía mediante tubería **2.** Pendientes laterales suaves para facilitar el acceso
3. Entrada de escorrentía superficial por los laterales **4.** Franja vegetada como pretratamiento
5. Lámina de agua permanente **6.** Estructura de rebose

CARACTERÍSTICAS

Control de caudal pico	💧	💧	
Control del volumen de escorrentía	💧		
Mitigación de la contaminación	🍃	🍃	🍃
Valor ecológico	🍃	🍃	🍃
Valor estético	⚙	⚙	⚙
Multifuncionalidad de la actuación	⚙	⚙	⚙

FUNCIONES

Tratamiento	Detención
	

ÍNDICE DE MITIGACIÓN DE CONTAMINANTES

Sólidos en suspensión totales	0,8 – 0,7
Metales	0,8 – 0,7
Hidrocarburos	0,8 – 0,5

POSIBLES LOCALIZACIONES

Centros históricos protegidos	📍	Ensanche	📍
Edificación Abierta	📍	Unifamiliar	📍
Industrial	📍	Terciario	📍
Red de viario	📍	Parques y jardines	📍

Óptimo	📍	Posible	📍
Desaconsejable	📍	Incompatible	📍

Características principales

- Poseen una gran capacidad de eliminación de contaminantes en las escorrentías (humedales) y de reducción de caudal pico (estanques).
- Pueden gestionar eventos de distintas magnitudes, gracias a su lámina de agua variable.
- Se recomienda su utilización en cuencas grandes, con espacio abundante para su implementación.
- Pueden albergar especies vegetales y crear hábitats, mejorando la biodiversidad de forma muy significativa.
- Presentan importantes beneficios sociales y paisajísticos. Aumentan el valor de la propiedad, favorecen el turismo y fomentan las actividades educativas.
- Se debe asegurar una fuente de agua para el mantenimiento de la lámina permanente durante los periodos secos.
- La colmatación puede reducir la efectividad de sistema por lo que se recomienda instalar SUDS que favorezcan la sedimentación antes de la entrada.

Estanque en el parque inundable la Marjal de Alicante.
Fuente: Ayuntamiento de Alicante.

Criterios de Diseño

La **ubicación** para estanques y humedales ha de ser una zona llana, estable e impermeable. Pueden ser depresiones naturales o excavadas, pero nunca masas de aguas naturales existentes. En los terrenos permeables o con riesgo de contaminación se ha de colocar una geomembrana impermeable. Los estanques son recomendables en cuencas de entre 2 y 4 ha de área impermeable y los humedales de 4 a 10 ha. Se debe tener en cuenta el **uso público** del espacio, potenciando la naturalización, con bordes blandos y ondulados. Han de estar correctamente señalizados, prohibiendo el baño y estableciendo las zonas de agua temporal y permanente.

La **profundidad** recomendada para la lámina permanente será como mínimo de 1,20 m de profundidad. Para evitar el estancamiento de las aguas, en humedales con profundidades mayores a 1,5 m se ha de establecer un sistema de recirculación. También pueden crearse cámaras de menos de 0,60 m de profundidad que aumenten la capacidad de tratamiento al favorecer los procesos biológicos. Así mismo, se potenciará la residencia del agua aumentando la distancia entre la entrada y la salida. Para ello se establecerá una ratio longitud-ancho de 3:1 como mínimo, pudiendo crear diferentes vasos o cámaras conectados a través de bermas o taludes.

La **entrada de escorrentía** se puede hacer desde los laterales, protegidos por disipadores de energía para evitar erosión y lavado, o a través de un conducto. Los taludes de entrada para estanques tendrán un pendiente 3H:1V y pueden incluir escolleras y plantas. Para mejorar la calidad de la escorrentía se puede añadir una cámara de pretratamiento en la entrada del humedal o del estanque. La **salida de la escorrentía** se realizará de forma controlada mediante conductos de pequeño diámetro o una válvula de vórtice. Además, deben incluirse elementos de rebose a la red para los eventos de magnitud superior al de diseño.

Mantenimiento

Elemento de observación	Actividad a realizar	Indicador de necesidad de mantenimiento	Frecuencia habitual
Vegetación	Eliminación de la vegetación no deseada.	Presencia abundante de vegetación no deseada.	Mensual
	Recorte de plantas acuáticas y de vegetación de la orilla.	Crecimiento no uniforme de la vegetación.	Anual
	Reposición de la vegetación tras la eliminación de sedimentos.	Pérdida de biodiversidad tras eliminación de sedimentos.	Quinquenal
Superficie	Retirada de hojas, basuras y flotantes.	Acumulación de hojas, basuras y sedimentos en la superficie del agua.	Mensual
	Evaluación de la sedimentación y desarrollo de una rutina de mantenimiento adaptada.	Acumulación excesiva de sedimentos.	Mensual
	Análisis de las aguas en busca de contaminantes.	Pérdida de biodiversidad.	Mensual
	Eliminación de sedimentos si el volumen permanente se reduce un 20%.	Falta de capacidad y desbordamiento frecuente.	25-50 años
Entrada y salida	Inspección periódica y retirada de sedimentos de los elementos de rebose y entrada.	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Mensual
	Limpieza de la cámara de pretratamiento y eliminación de sedimentos.	Obstrucción de la cámara de pretratamiento, aparición de charcos o desbordamiento.	Trienal
Otros	Aireación en caso de eutrofización.	Proliferación de algas y aumento de la turbidez.	Trienal
	Inspección técnica en busca de daños en las estructuras de entrada y salida, dispositivos de tratamiento u otros elementos del humedal. Reparación en su caso.	Inspeccionar tras eventos extraordinarios de lluvias.	A demanda

AJUNTAMENT DE VALÈNCIA

Cicle Integral de l'Aigua