



Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el Término Municipal de Murcia





# **Créditos**

## INICIATIVA Y COORDINACIÓN: AYUNTAMIENTO DE MURCIA Y AGUAS DE MURCIA

Juan Antonio Blanco Barquero - Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Pablo Marín Noriega - Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Enrique Huelves Lorenzo - Arquitecto

Alberto Martínez Robles - Ingeniero Técnico de Obras Públicas

Juan Hernández Espinosa - Grado de Ingeniería Civil

Jesús Juan Flor García - Ingeniero Civil

Sergio Pascual Lledó - Ingeniero Industrial

Pedro F. Soriano Pacheco - Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Beatriz Martínez Caravaca - Ingeniera Industrial

Isabel Ma García Hernández - Ingeniera Industrial

Pablo Espín Leal - Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Silvia Herrero Retegui - Ingeniera Industrial

María Otón Puerta - Ingeniera Agrónoma

Jesús Marín Giménez - Ingeniero Industrial

Ituriel S. García Hergueta - Ingeniero Industrial

## REDACCIÓN: GREEN BLUE MANAGEMENT S.L. (Grupo TYPSA)

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

Pascual Ferrans Ramírez - Dr. Ingeniero Ambiental

Francisco José Martínez Rodríguez - Ingeniero Civil





Diciembre 2023

© Ayuntamiento de Murcia

© Aguas de Murcia

Reservados todos los derechos

Página 2 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





# Índice

1.	Intro	ducción y motivaciónducción y motivación de la companya de la	5
2.	Nue	vas tendencias en la gestión del agua urbana	7
	2.1.	El agua: un recurso valioso y escaso	7
	2.2.	El desafío del Cambio Climático	7
	2.3.	Transición hacia la economía circular	8
	2.4.	Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el drenaje urbano	10
	2.5.	Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)	11
	2.6.	SbN en el drenaje urbano: SUDS como complemento al sistema tradicional	12
3.	Medi	idas de drenaje sostenible	14
	3.1.	Introducción	14
	3.2.	Beneficios de los SUDS	15
	3.3.	Objetivos	17
	3.3.	.1.Control de la cantidad	18
	3.3.	.2.Control de la calidad	19
	3.4.	Descripción de técnicas SUDS	23
	3.4.	.1.Medidas estructurales	23
	3.4.	.2.Medidas no estructurales: la importancia de la divulgación	66
4.	Proce	eso de Diseño de SUDS	70
	4.1.	Caracterización	72
	4.1.	.1.Escala macro	72
	4.1.	.2.Escala micro	72
	4.2.	Selección de SUDS	81
	4.3.	Cálculos de dimensionamiento	82
	4.3.	.1.Definición de volúmenes	82
	4.3.	.2.Tiempo de vaciado	83
	4.3.	.3. Criterios adicionales	84
	4.4.	Principales referencias en materia de diseño	85
	4.4.	.1.Nacionales	85
	4.4.	.2.Internacionales	85





5.	Mant	enimiento y monitorización	87
	5.1.	La importancia del mantenimiento desde el diseño	87
	5.2.	Principales tareas de mantenimiento por tipos de SUDS	87
	5.3.	Monitorización y seguimiento	93
	5.3.	1.Instrumentación y equipos de medición	93
	5.3.2	2.Recopilación de información	94
	5.3.3	3.Análisis de muestras	94
	5.3.4	4.Análisis de la información	95
6.	Marco regulatorio		
	6.1.	Marco europeo	96
	6.2.	Marco nacional	96
	6.3.	Marco autonómico y local	97
A۱	NEJO 1	L CARACTERIZACIÓN A ESCALA MACRO	99





# 1. Introducción y motivación

A lo largo de las últimas décadas, el éxodo rural hacia las ciudades y el creciente desarrollo poblacional ha derivado en la necesidad de desarrollar progresivamente la infraestructura de viviendas y servicios públicos de las ciudades. Esto ha provocado una alteración total de los usos del suelo, generando una continua impermeabilización de las superficies e introduciendo en el medio, gradualmente, una mayor cantidad de contaminantes. Como consecuencia, uno de los principales desafíos que surgen de este desarrollo urbano continuo es la gestión de las aguas pluviales en las ciudades.

El progresivo sellado del suelo a causa de la actividad urbanizadora tiene como consecuencia la reducción de las tasas naturales de infiltración, almacenamiento y evapotranspiración, lo cual genera incrementos en los volúmenes totales de escorrentía y en los caudales generados durante los eventos de precipitación.





Figura 1. Problemas de inundación pluvial en la ciudad de Murcia.

Tradicionalmente, el paradigma de gestión del agua pluvial estaba enmarcado en una clara intención de evacuar rápidamente la escorrentía, mediante tuberías subterráneas. No obstante, paulatinamente ha surgido un nuevo enfoque en la gestión del drenaje urbano, actuando desde el origen, en el cual se propone ralentizar y modificar el esquema de evacuación del agua, propiciando procesos que simulen el ciclo natural del agua: retención, detención, infiltración, evapotranspiración, etc.

En este concepto se basan los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), concebidos como sistemas alternativos y complementarios a la red de drenaje convencional, que tienen como principal objetivo mitigar los efectos negativos que causa el desarrollo urbano en el ciclo natural del agua. Son elementos del sistema de drenaje que propician los procesos naturales previamente descritos, cuya filosofía de diseño se fundamenta en la integración paisajística y la renaturalización de los entornos urbanos.

Actualmente, existen múltiples casos exitosos de implementación de SUDS alrededor del mundo, y países como China, Australia o Estados Unidos, entre otros, los consideran elementos fundamentales en sus esquemas de drenaje. Así mismo, España cuenta cada vez con más regiones interesadas en este tipo de estrategias. Ciudades como Sevilla, Barcelona, Madrid, Santander o Valencia han ido implementando paulatinamente el drenaje sostenible dentro de sus desarrollos. Por su parte, Murcia, dentro de su Plan de

Guía SUDS T.M. Murcia Página 5 de 110





Economía Circular, los considera un pilar fundamental para lograr los objetivos de sostenibilidad y preservación del medio ambiente, así como del cuidado y gestión sostenible del agua.

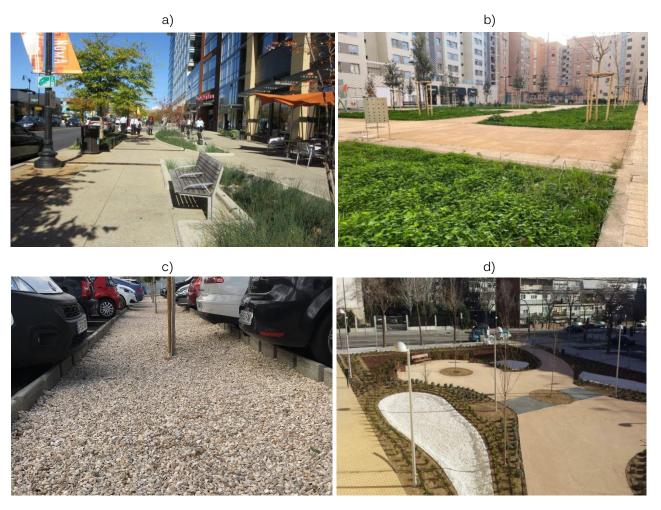


Figura 2. Implementación de SUDS: a) Washington-USA, b) Valencia-ES, c) Ribarroja de Turia-ES, d) Madrid-ES.

Sin embargo, los SUDS continúan siendo desconocidos para una gran parte de técnicos y dirigentes responsables. Es en este contexto donde surge la necesidad de crear la presente guía, con el fin de exponer los aspectos técnicos y prácticos relacionados con la implementación de SUDS en el término municipal de Murcia. Este documento presenta un capítulo introductorio de tendencias innovadoras en la gestión del agua urbana, para después entrar en materia respecto a los SUDS, incluyendo sus principios de funcionamiento, beneficios, objetivos y tipos de medidas. Posteriormente se incluye un capítulo del <u>proceso de diseño de SUDS</u>, para finalizar con recomendaciones de mantenimiento, monitorización y un apartado final del marco regulatorio relacionado con el drenaje urbano.

Página 6 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





# 2. Nuevas tendencias en la gestión del agua urbana

# 2.1. El agua: un recurso valioso y escaso

La Directiva Marco del Agua (2000/60/EC) es la normativa europea en materia de aguas que establece los criterios de evaluación del estado de las masas de agua en el continente, con el objetivo de gestionar la demanda de agua en calidad y cantidad. En ella queda reflejada la necesidad de percibir el agua como un recurso limitado y de importancia capital.

Este concepto no es una novedad en el sureste de la Península Ibérica, región caracterizada por precipitaciones escasas con una distribución temporal irregular. Por este motivo, resulta importante disponer de sistemas eficientes de gestión de la escorrentía, que mitiguen los potenciales impactos negativos y administren de manera eficiente el agua disponible.

Para ello, se proponen los SUDS como herramienta transversal en la gestión de aguas pluviales, favoreciendo procesos como la descontaminación de la escorrentía, así como la utilización del agua de lluvia y la generación de espacios paisajísticos que aporten valor y belleza a los entornos urbanos.



Figura 3. Balsa de detención e infiltración en el Parc Central de Valencia-ES.

#### 2.2. El desafío del Cambio Climático

Las publicaciones emitidas en *Climate Change Widespread, Rapid and Intensifying*, del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) evidencian que la ocurrencia y severidad de las inundaciones se ha incrementado muy sensiblemente, dando lugar a efectos socioeconómicos y medioambientales significativos.

Según el informe *Estrategia de Adaptación al Cambio Climático del Municipio de Murcia a 2030*, uno de los principales impactos del cambio climático afectará a los recursos hídricos: *"Escasez de precipitaciones, olas de calor, incremento de las temperaturas mínimas y lluvias torrenciales en otoño"*, que, consecuentemente, provocará una disminución del nivel de acuíferos.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 7 de 110





A su vez, el efecto "isla de calor" es un fenómeno térmico que se extiende especialmente en las áreas urbanas, como consecuencia de la diferencia de temperatura que existe entre las zonas con mayor índice de edificación y la de sus alrededores. Este efecto se desarrolla por tres factores principales: la producción directa de calor por combustión, la reducción gradual del calor almacenado durante el día en las construcciones de hormigón y la radiación devuelta a la superficie terrestre por la reflexión en la capa de impurezas atmosféricas.

Desde este punto de vista, los SUDS tienen como objetivo contribuir significativamente a la adaptación al cambio climático, especialmente en la zona mediterránea, en múltiples ámbitos: mejorando la respuesta de los desarrollos urbanísticos frente a eventos de precipitación susceptibles de provocar inundaciones y combatiendo el efecto "isla de calor" mediante la creación de espacios más vegetados y permeables.



Figura 4. Jardín de Iluvia en Washington-USA

# 2.3. Transición hacia la economía circular



Figura 5. Portada del documento Estrategia de Economía Circular del Municipio de Murcia.

El Ayuntamiento de Murcia y la Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia (EMUASA) han desarrollado un proceso orientado hacia la sostenibilidad ambiental, que se inició en el año 2015, momento en el cual empezó a replantearse la manera de entender y gestionar la ciudad. Como resultado de estos esfuerzos, se han ido generado planes estratégicos y documentos orientados a la consecución de objetivos medioambientales.

De esta forma, Murcia se ha convertido en pionera a nivel nacional, con la publicación de la Estrategia de economía circular del municipio de Murcia, primer documento específico en la materia a nivel municipal en España; y cuenta también con otras publicaciones, como la Estrategia de adaptación al cambio climático del municipio de Murcia a 2030, junio 2018, Concejalía de Urbanismo, Medio Ambiente, Agua y Huerta, que tiene la finalidad de generar un municipio más resiliente y adaptado al cambio climático.

Página 8 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Actualmente, el Ayuntamiento de Murcia tiene en curso varios planes cuyos objetivos impulsan la economía circular:

- Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenible.
- Plan General de Ordenación Urbana.

Además, se ha adherido a proyectos como CITYLOOP, LIFE ENRICH, HOOPy y VALUEWASTE.

Uno de los documentos que resume la priorización de la ciudad por lograr objetivos de desarrollo urbano sostenible es la Agenda Urbana Murcia 2030. En esta agenda se plantea como eje fundamental de trabajo la multidisciplinariedad de los agentes involucrados, entre los que se encuentra la sociedad civil, los técnicos, la academia, las entidades administrativas y prestadoras de servicios públicos, entre otras. Dentro de estos agentes, uno de los que cumple un papel preponderante es EMUASA, la empresa encargada de gestionar el Ciclo Urbano del Agua en todo el término municipal de Murcia. Alineada con la estrategia de ciudad, EMUASA tiene una firme convicción de que la gestión integral de los recursos naturales es la vía más eficiente para lograr la sostenibilidad ambiental.

Dentro de su Estrategia de Economía Circular, EMUASA plantea diferentes ejes prioritarios de actuación, entre los que destacan, por su relación con la presente Guía, el de gestión del agua y el de sostenibilidad de los espacios urbanos.

En el primero de ellos, se menciona lo siguiente: "[...] reutilizará parte del agua que consume, evitará la degradación de sus ecosistemas y mantendrá una infraestructura verde y azul que conecta barrios y pedanías. [...]".

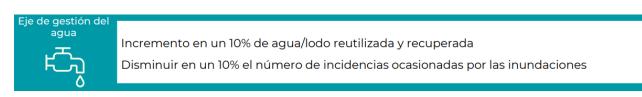


Figura 6. Objetivos de la Estrategia de Economía Circular del municipio de Murcia para el año 2030. Fuente: Plan de Acción de ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR.

Por otro lado, el eje de sostenibilidad de los espacios urbanos aspira a propiciar acciones que optimicen la utilización y la mimetización de espacios más verdes dentro de espacios urbanos. Para tal fin, propone: "[...] incrementar las zonas verdes, resilientes, sostenibles y autosuficientes y mejorar su conectividad [...]".



Figura 7. Objetivos de la Estrategia de Economía Circular del municipio de Murcia para el año 2030. Fuente: Plan de Acción de ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 9 de 110





Los SUDS se constituyen como una técnica idónea para perseguir los dos objetivos descritos previamente. Respecto al <u>eje de gestión del agua</u>, los SUDS pueden propiciar el aprovechamiento de agua pluvial, tras un adecuado tratamiento, para usos no potables como el riego. Del mismo modo, mejoran la gestión de los eventos de inundación, ya que laminan los caudales punta y reducen el volumen total vertido al medio receptor.

En referencia al eje de sostenibilidad de los espacios urbanos, los SUDS proporcionan espacios más verdes (cubiertas vegetadas, parterres inundables, cunetas vegetadas, etc.), que además de gestionar el agua, contribuyen a mejorar el bienestar social de la población a través de la creación de espacios de ocio y esparcimiento.

# 2.4. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el drenaje urbano

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son herederos de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y buscan ampliar los éxitos alcanzados y lograr las metas que no fueron conseguidas en su momento. Aunque los ODS no son jurídicamente obligatorios, sí se espera que los gobiernos adopten medidas que contribuyan a su consecución. En términos generales, su finalidad es propiciar políticas y desarrollos que cuiden a la sociedad y al medio ambiente.

En total se cuenta con 17 ODS, los cuales abarcan cada una de las áreas que se consideraron relevantes para conseguir el desarrollo sostenible. Debido a su importancia en la protección del medio ambiente, el cuidado del agua es una temática transversal en dicho plan y se encuentra incluida en más de uno de los objetivos.



Figura 8. Principales Objetivos de Desarrollo Sostenible con relevancia en el drenaje urbano. Fuente: Naciones Unidas.

Más específicamente, existe una relación directa entre estos objetivos y el drenaje urbano sostenible, ya que, estas directrices están basadas en la correcta gestión del agua, así como también en la implementación y el uso de infraestructura verde. La Figura 8 presenta aquellos ODS que se han identificado tienen relación directa con el drenaje urbano. Adicionalmente, la Tabla 1 hace un listado de cada objetivo, con una breve descripción de qué aportan los SUDS en ese ámbito.

Página 10 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia



Tabla 1. ODS relacionados al drenaje urbano y mecanismos de contribución de los SUDS.

No.	Objetivo	Aporte de los SUDS
3	Salud y Bienestar	Espacios verdes que aportan valor estético y de recreación a las ciudades, y mejora de las masas de agua.
6	Agua Limpia y Saneamiento	Depuración natural del agua de escorrentía para la reducción de la contaminación y de los vertidos de agua sin tratar.
11	Ciudades y Comunidades Sostenibles	Aportación holística a la sostenibilidad urbana mediante la gestión integrada e inclusiva de las aguas pluviales.
13	Acción por el Clima	Fortalecimiento de la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima, reduciendo la escorrentía que entra a los sistemas de saneamiento y drenaje existentes.
14	Vida submarina	Reducción de la contaminación marina producida por vertidos de aguas urbanas no tratadas.
15	Vida de Ecosistemas Terrestres	Constitución de nuevos espacios y mejora de los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan.
17	Alianzas Para lograr los objetivos	Mejora de la coherencia de las políticas para el desarrollo sostenible al tejer alianzas entre agentes a diferentes niveles y multisectoriales.

# 2.5. Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

Generalmente, la actividad urbanizadora conlleva cambios sustanciales en el uso del suelo, lo que ocasiona que el ciclo hidrológico se vea alterado debido a la modificación de los procesos naturales de drenaje. Asimismo, el incremento de la escorrentía urbana y la continua impermeabilización de los terrenos provocan una sobrecarga de las redes de drenaje y una reducción de la infiltración natural del agua, dando paso a un menor volumen de agua para su aprovechamiento. Adicionalmente, el cambio climático ha derivado en la sucesión de precipitaciones cada vez más extremas, lo cual conlleva un aumento del riesgo de inundación y de saturación de las infraestructuras, generando un impacto económico negativo causado por la necesidad de renovación y ampliación de los sistemas de gestión de escorrentía y por la mitigación de riesgos de inundación y contaminación. Este escenario induce a un cambio de paradigma en la gestión de la escorrentía urbana, con el objetivo claro de generar ciudades más sostenibles y resilientes.

Para mitigar este problema, ha surgido el concepto de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). La Comisión Europea las define como "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". Así, el objetivo de estas soluciones es atajar los impactos negativos de la urbanización mediante propuestas que intenten imitar la situación de la zona previa al desarrollo. Se basa, pues, en un concepto que aporta estrategias claras para el desarrollo sostenible.

El pilar conceptual de las SbN es utilizar la naturaleza como un aliado en los diseños y soluciones de las ciudades. Dichas soluciones tienen un aspecto multidisciplinar, que incluye aspectos de bienestar social,

Guía SUDS T.M. Murcia Página 11 de 110





beneficios ambientales, mejora de la calidad del aire y estrategias de drenaje y gestión de aguas residuales. En todos los casos, el objetivo final es percibir la infraestructura verde como un aliado que complemente la concepción tradicional de las ciudades, sin restar importancia y relevancia a las soluciones tradicionales de drenaje y gestión de agua urbana (colectores subterráneos, EDAR, estrategias de control y monitorización, etc.).



Figura 9. Parterres inundables en la Calle Cristóbal de Moura en Barcelona-ES.

Entendiendo los SUDS como infraestructura verde que complementa a los sistemas de gestión de la escorrentía urbana, se constata que estos forman parte integral y se engloban dentro de la definición de SbN. Para el caso de Murcia, los SUDS son ciertamente una herramienta que puede contribuir a lograr los objetivos de circularidad y sostenibilidad que ya se han planteado como planes estratégicos de ciudad.

Para ampliar el conocimiento sobre SbN en Europa, se recomienda revisar la información disponible en: Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change.

# 2.6. SbN en el drenaje urbano: SUDS como complemento al sistema tradicional

Respecto al drenaje urbano, posiblemente las SbN de mayor relevancia e implementación son los SUDS. De acuerdo con los principios de las SbN, los SUDS integran los sistemas verdes como un componente esencial dentro de los esquemas de gestión de aguas pluviales urbanas. En entornos urbanos densos, los SUDS deben ser entendidos como elementos que complementan los sistemas convencionales de gestión de pluviales, lo cual adquiere especial relevancia en casos en los que éstos presenten problemas de capacidad y su ampliación sea inviable.

Los sistemas sostenibles de gestión de pluviales deben conceptualizarse de manera descentralizada, favoreciendo procesos de captura, detención, retención y tratamiento de agua en la fuente, como ya indicaba hace más de dos décadas la Directiva Marco del Agua. Dicho enfoque favorecerá que la cantidad de agua pluvial que discurra por las redes urbanas de drenaje y saneamiento sea menor.

Así, se tendrá que contemplar el funcionamiento conjunto de los SUDS con la infraestructura de drenaje y saneamiento convencional (existente o de nueva planta). Partiendo de este concepto, el presente

Página 12 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





documento tiene el objetivo principal de ofrecer <u>criterios de conceptualización y diseño de SUDS</u> para el término municipal de Murcia. Todo esto con el firme propósito de que puedan ofrecer una solución de drenaje sostenible viable para el municipio, tanto para acciones de regeneración en zonas ya urbanizadas, como para nuevos desarrollos.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 13 de 110





# 3. Medidas de drenaje sostenible

# 3.1. Introducción

Los SUDS constituyen una solución adecuada y eficaz para ayudar a gestionar las aguas pluviales y reducir el riesgo de inundaciones. Tal como se presenta en la Figura 10, la impermeabilización de los espacios provoca que se multiplique el porcentaje del agua de lluvia que se convierte en escorrentía.

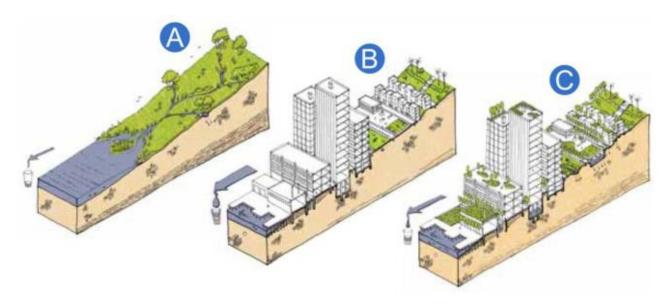


Figura 10. Comparación del comportamiento de una cuenca en estado natural (A), urbanizada (B), y urbanizada con SUDS (C).

Fuente: San Francisco Public Utilities Comission (2009).

Por medio de la implementación de SUDS se logra revertir parcialmente esta situación, incrementando significativamente el agua que se aprovecha y se infiltra al suelo, contrarrestando la falta de capacidad de las redes de drenaje existentes. Al mismo tiempo, los SUDS aseguran un mayor cuidado y restauración de los espacios naturales en las zonas urbanas, dotando a los ciudadanos de espacios públicos multifuncionales de mayor calidad, así como mejoras en aspectos de biodiversidad.

Los SUDS posibilitan la gestión de la escorrentía en origen, allí donde el agua de lluvia contacta con las superficies urbanas: en calles, plazas, jardines, parcelas privadas, cubiertas, etc. El principio básico de funcionamiento es la captación y gestión descentralizada de la mediante su almacenamiento, filtración, aprovechamiento evapotranspiración, infiltración en origen, tanto en espacios públicos como privados, que а su vez genera



Figura 11. Parterres inundables y balsa de infiltración en la Calle Cristóbal de Moura-Barcelona-ES.

disminuciones en la cantidad de escorrentía superficial (Figura 10).

Página 14 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Los SUDS pueden desarrollar las siguientes funciones hidrológicas:

- <u>Detención</u>: ralentizar de forma temporal el flujo de la escorrentía, mediante mecanismos que favorezcan la reducción de la velocidad y disminución del caudal del agua.
- Retención: retener y almacenar por periodos de tiempo largos la escorrentía para su posterior aprovechamiento o evapotranspiración.
- Infiltración: propiciar la infiltración del agua al subsuelo, mediante capas que también favorezcan el filtrado y la depuración de la escorrentía.
- <u>Filtración</u>: retención de sedimentos presentes en la escorrentía mediante su paso a través de un medio filtrante.
- <u>Tratamiento:</u> se favorecen procesos físicos y biológicos que contribuyen a la reducción de contaminantes en la escorrentía.

Las funciones principales y secundarias de cada tipología de SUDS (descritas en detalle en la <u>Sección 3.4.1</u>) aparecen presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Funciones principales y secundarias de las diferentes tipologías SUDS.

TIDO DE CUDO	FUNCIÓN						
TIPO DE SUDS	FILTRACIÓN	DETENCIÓN	TRATAMIENTO	RETENCIÓN	INFILTRACIÓN		
Cubiertas vegetadas		S		Р			
Parterres inundables			Р		S		
Balsas de detención/infiltración		Р			S		
Cunetas vegetadas			Р		S		
Pavimentos permeables	Р				S		
Drenes filtrantes	Р	S					
Pozos y Zanjas de infiltración	S				Р		
Depósitos reticulares.		S			Р		
Humedales, Lagos/estanques		S	Р				

P PRINCIPAL

S SECUNDARIA

# 3.2. Beneficios de los SUDS

Las directrices básicas de la filosofía de los SUDS (por sí mismos o como drenaje complementario al convencional), son las siguientes (Woods-Ballard et al., 2015):

- Proteger masas de agua existentes.
- Preservar patrones de drenaje naturales.
- Minimizar y desconectar superficies impermeables.
- Contemplar el aprovechamiento del agua de lluvia.
- Tratar el agua de lluvia en origen.
- Utilizar cadenas de gestión de SUDS para eliminar contaminantes.
- Reducir el riesgo de inundación.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 15 de 110





Para ello, el documento *The SUDS Manual* resalta los cuatro pilares en los que debe basarse el diseño de los SUDS:

- Control de la cantidad de escorrentía: gestiona adecuadamente el riesgo de inundación pluvial, además de ayudar a mantener y proteger el ciclo natural del agua, reduciendo tanto volúmenes como caudales respecto a un diseño convencional.
- Control de la calidad de la escorrentía: previene la contaminación de los cuerpos receptores.
- Diseño para el ciudadano: da lugar y mantiene espacios más amigables para los habitantes, incrementando las oportunidades de participación, educación y recreo, además de mejorar el aspecto visual con soluciones multifuncionales.
- <u>Diseño para la biodiversidad</u>: contribuye a la biodiversidad local, promoviendo y protegiendo hábitats y especies locales, y contribuyendo a la conectividad de hábitats.



Figura 12.Pilares de diseño de los SUDS.

El uso de técnicas de drenaje sostenible presenta importantes beneficios, siendo algunos de ellos inmediatos y otros que tienen repercusión en el transcurso del tiempo. Desde un punto de vista estrictamente hidrológico, tres son los beneficios fundamentales que presenta el uso de los SUDS:

 Reducción de los volúmenes de escorrentía. Parte de la escorrentía puede ser aprovechada, infiltrada o evapotranspirada en las zonas verdes, reduciendo el volumen descargado a los sistemas convencionales.

Página 16 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





- Laminación de los caudales pico. Los SUDS contribuyen a reducir los caudales pico ya que pueden almacenar agua y descargarla en diferido a un caudal controlado.
- Mejora de la calidad del agua. El filtrado mediante materiales granulares y los procesos biológicos de biorremediación que proporciona la vegetación y el medio filtrante, contribuyen a mejorar la calidad del agua.

Además de ser un método eficaz de gestión de las escorrentías, las zonas verdes derivadas de la implementación de los SUDS presentan numerosos co-beneficios si se comparan con infraestructuras grises equivalentes, destacando la capacidad de tratamiento de las escorrentías, la captura y almacenamiento del carbono por medio de la presencia de plantas, y la reducción del efecto "isla de calor" en las ciudades.

# 3.3. Objetivos

A la hora de diseñar SUDS, es importante considerar el objetivo principal de su implementación: crear un sistema de drenaje urbano resiliente que se integre de una manera eficiente en el paisaje de las ciudades y que proteja al medio receptor, entregando caudales laminados y de mejor calidad. Los SUDS se deben diseñar atendiendo a los cuatro pilares básicos en los que se fundamentan (Figura 12). Por ello, deberán diseñarse para gestionar la escorrentía desde el origen, tanto en cantidad como en calidad, tratando de replicar el ciclo hidrológico natural en el ámbito de desarrollo.

En proyectos de nueva implantación, los diseños deben contemplar desde el inicio el modo de realizar una gestión sostenible del agua de lluvia, con una distribución adecuada de los usos del suelo, fomentando las zonas permeables y vegetadas, e identificando las zonas de flujo, los puntos de acumulación o de infiltración al medio, etc.

Por otro lado, en proyectos de regeneración urbana, el objetivo principal para el diseño de SUDS debe ser su adaptación al lugar de actuación, aliviando y mejorando el funcionamiento del sistema de drenaje existente mediante la disminución de superficies impermeables, la reducción de cantidad de escorrentía, la laminación del caudal que entra en el sistema y la mejora de calidad de la escorrentía que alcanza el medio receptor.

A continuación, se establecen unos objetivos concretos de diseño para el control de la cantidad y la calidad de escorrentía para el término municipal de Murcia.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 17 de 110





#### 3.3.1. Control de la cantidad

#### 3.3.1.1. Reducción de escorrentía

En el control de la cantidad de escorrentía que puede gestionar un SUDS es habitual el empleo de percentiles volumétricos, que serán representativos de las lluvias ordinarias. 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. Por tanto, los percentiles pluviométricos se asocian al volumen  $(V_x)$  que debe tener un elemento para ser capaz de gestionar la cantidad de escorrentía que genera un evento lluvioso para un determinado percentil x en un año tipo. Por orden de prioridad, en aquellos emplazamientos donde sea posible la infiltración de las escorrentías al terreno, se buscará infiltrar en origen. En segundo lugar, se propondrá el vertido al medio natural; en tercer lugar, el vertido a una red separativa con final al medio natural y, por último, el vertido a una red unitaria.

Por lo general, todos los elementos SUDS se diseñarán para la gestión de un volumen de escorrentía mínimo equivalente al percentil  $V_{80}$ , si bien, en zonas de urbanización densa (ej: centro histórico) se propone un criterio de diseño más flexible ( $V_{60}$ ) y en zonas de parques y jardines, con grandes zonas verdes, unos requisitos más estrictos ( $V_{95}$ ).

#### 3.3.1.2. Control de caudales

Adicionalmente, todos aquellos proyectos que sean desarrollados en nuevas urbanizaciones o en zonas consolidadas, cuya cuenca de aportación sea mayor a 2 hectáreas, se exigirá que se desarrolle un modelo hidrológico/hidráulico, utilizando EPA SWMM o un software similar, dentro de los cuales se considerarán válidos InfoDrainage, MicroDrainage, Infoworks, Safer Places e IBER.

Dicho modelo deberá garantizar que se cumplen los criterios mínimos de diseño de SUDS exigidos en la presente guía. Al respecto, los SUDS deben presentar un volumen de almacenamiento suficiente para limitar los caudales de escorrentía vertidos fuera del ámbito de actuación, con la finalidad de evitar el incremento del riesgo de inundación en enclaves situados aguas abajo del ámbito objeto de estudio (Figura 13). En este sentido, una buena práctica consiste en estimar el caudal pre-urbanizado de la parcela, que se define como el caudal de escorrentía que se produciría en las condiciones previas al desarrollo urbano.

De este modo, si se restringe el caudal vertido a la red de drenaje o a un cauce natural a este umbral, se está asegurando <u>que el desarrollo urbano no está empeorando las condiciones hidrológicas preexistentes</u>. Por ello, tendrá en cuenta el siguiente criterio:

 $Q_{max,post-urbanizado} \leq Q_{max,pre-urbanizado} \cdot 0.8$ 

Concretamente, se estudiará el estado post-urbanizado empleando las intensidades mayoradas por el factor corrector, debido al efecto del cambio climático, el cual es presentado y discutido en el estudio pluviométrico del Anejo 1. Para garantizar el correcto cumplimiento del criterio de caudales de descarga, se podrá solicitar estudios hidráulicos/hidrológicos detallados, en los cuales se determine de manera precisa la metodología de estimación de caudales y se garantice el correcto cumplimiento de las restricciones de vertido.

Página 18 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





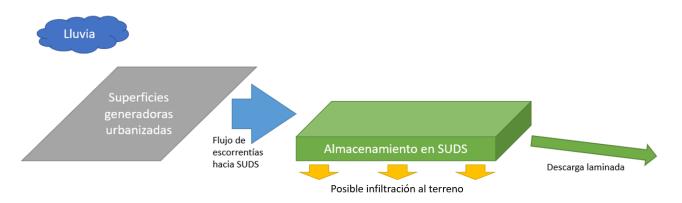


Figura 13. Esquema de funcionamiento de un SUDS con restricción al vertido.

#### 3.3.2. Control de la calidad

La escorrentía procedente de zonas urbanizadas puede presentar una carga contaminante significativa derivada del arrastre de sedimentos, hojas procedentes del arbolado y contaminantes presentes en la superficie de los viales. Este fenómeno es más acusado en los primeros milímetros de precipitación, especialmente tras periodos secos, en lo que se denomina primer lavado o *first flush*.

Para asegurar un adecuado tratamiento de las escorrentías, además de seleccionar la tipología de SUDS más conveniente, debe asegurarse un volumen de retención suficiente para poder almacenar y tratar íntegramente los <u>episodios lluviosos más frecuentes</u> y proporcionar tratamiento a las primeras aguas de todos los episodios lluviosos, que son las que suelen presentar una carga contaminante más elevada.

De acuerdo con la filosofía de la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico y las recomendaciones que están marcando algunas confederaciones hidrográficas (como la del Júcar) en materia de calidad de aguas, se dimensionarán los SUDS para que estos tengan capacidad de tratar las escorrentías generadas por el percentil pluviométrico  $V_{80}$ .

Adicionalmente, será fundamental garantizar, utilizando una escala numérica, que los SUDS seleccionados cumplan con los requisitos mínimos deseados de reducción de contaminantes. Es por ello que la tipología de SUDS seleccionada debe tener en cuenta los usos del suelo en la cuenca vertiente, de modo que se asegure que se está proporcionando a las escorrentías un tratamiento suficiente, de acuerdo con el potencial contaminante de la cuenca. Para realizar una estimación del potencial contaminante y de la capacidad de tratamiento de cada tipología de SUDS, se empleará la metodología de Índices de Mitigación, desarrollada originalmente por *The SuDS Manual* (Woods-Ballards et al., 2015).

Esta metodología establece unos índices de peligrosidad para cada uso del suelo, que deben compararse con los índices de mitigación de cada tipo de SUDS. La tipología de SUDS seleccionada será adecuada desde el punto de vista de la calidad, si se cumple que la capacidad de mitigación del SUDS es igual o superior al índice de peligrosidad del uso del suelo de la cuenca asociada:

Índice de mitigación de contaminación del SUDS

 $\geq$ 

Índice de peligrosidad de contaminación

Guía SUDS T.M. Murcia Página 19 de 110





La elección de la tipología de SUDS repercute significativamente en la calidad de los efluentes. Por ejemplo, los SUDS basados en la biorremediación o la filtración a través de material granular (como las áreas de biorretención o los pavimentos permeables) presentan un potencial de tratamiento superior a otras técnicas que únicamente cuentan con detención y sedimentación, pudiendo recibir escorrentías procedentes de zonas con tráfico rodado. Para más información sobre funciones que pueden desempeñar los SUDS, consultar la Tabla 2.

Dado que, en ocasiones, un único SUDS no logra el nivel de mitigación adecuado, se puede optar por la concatenación de SUDS de diferente tipología formando un tren de tratamiento que aumente la efectividad de la actuación. El tren de SUDS se adaptará a las necesidades y características puntuales de cada caso, sin embargo, se tendrán en cuenta estructuras de pretratamiento y elementos que combinen diferentes modos de tratamiento de la escorrentía.

Un ejemplo de tren de tratamiento podría consistir en una cuneta vegetada, que proporciona pretratamiento y conduce la escorrentía. Posteriormente, un parterre inundable, donde se aplica un tratamiento (filtración de la escorrentía a través del paso de la misma por un medio granular), así como

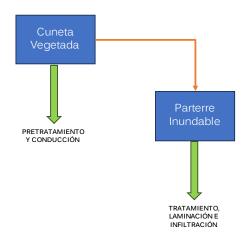


Figura 14. Esquema ejemplo de un tren de SUDS.

laminación e infiltración del agua. La Figura 14 presenta este esquema de diseño de un tren de tratamiento.

Para estos casos, los índices de mitigación se calcularán empleando la siguiente metodología:

Índice de mitigación de contaminación de la cadena SUDS 

Índice de mitigación de contaminación del SUDS 1

Índice de mitigación de contaminación del de contaminación del SUDS 2

A continuación, la Tabla 3 presenta los índices de mitigación de cada tipología SUDS para 3 tipos de contaminantes del agua. Adicionalmente, la Tabla 4 presenta una herramienta para determinar la peligrosidad en función del uso del suelo en zonas urbanizadas para los mismos contaminantes del agua.

Página 20 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Tabla 3. Índices de mitigación para los diferentes tipos de SUDS. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015).

Tipo de SUDS	Sólidos Suspendidos Totales	Metales	Hidrocarburos		
Cubiertas vegetadas	0,4	0,4	0,4		
Parterres inundables (Jardín de Iluvia)	0,6	0,5	0,6		
Parterres inundables (Áreas de biorretención)	0,8	0,8	0,8		
Balsas de retención/detención	0,5	0,5	0,6		
Cunetas vegetadas	0,5	0,6	0,6		
Pavimentos permeables	0,7	0,6	0,7		
Drenes filtrantes	0,5*	0,4	0,4		
Pozos y Zanjas de infiltración	0,5*	0,4	0,4		
Humedales, Lagos/estanques	0,8	0,8	0,8		
Depósitos Reticulares	Requieren de un sistema complementario a su entrada				
*Siempre que incluya un geotextil apropiado					

Guía SUDS T.M. Murcia Página 21 de 110





Tabla 4. Índices de peligrosidad en función del uso del suelo en zonas urbanizadas Fuente: Adaptación de CIRIA (2015).

Uso del Suelo	Riesgo de contaminación	Sólidos Suspendidos Totales	Metales	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 indústriales 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

Página 22 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





# 3.4. Descripción de técnicas SUDS

Como se ha mencionado en secciones anteriores, los SUDS abarcan múltiples tipologías, que tienen diversas naturalezas y clasificaciones. En función de su naturaleza constructiva, los SUDS pueden clasificarse en medidas Estructurales y No Estructurales.

Las medidas estructurales hacen referencia a aquellas soluciones que requieren de algún elemento constructivo para llevar a cabo la gestión de la escorrentía. Se trata de los tipos más clásicos de los SUDS, tales como cubiertas vegetadas, parterres inundables, cunetas vegetadas, etc.

Por otra parte, las medidas no estructurales son todas aquellas acciones que no requieren de una aportación física y estructural, sino más bien son acciones legislativas, educativas, divulgativas o cualquier otro tipo de acción tomada que tenga como objetivo fomentar y facilitar el drenaje sostenible en las ciudades.

#### 3.4.1. Medidas estructurales

Para el ámbito de aplicación de la presente guía, se han seleccionado aquellos tipos de SUDS que más se adecúan a los condicionantes físicos y urbanísticos de la ciudad de Murcia. Para cada tipo de SUDS se presenta la siguiente estructura descriptiva:

- Descripción general: se trata de un texto breve que resume sus principales características.
- Sección tipo y principales componentes: se realiza una explicación de cada tipo de SUDS, de las partes que la componen y de las variaciones que puede presentar según el caso.
- Comportamiento del agua en el sistema: se exponen, para cada tipo de SUDS, el comportamiento y ciclo del agua dentro del sistema, desde su entrada y almacenamiento hasta su evacuación.
- Criterios de diseño: se disponen en líneas generales cuáles son los principales criterios de diseño para cada tipo de SUDS.
- Beneficios y limitaciones: igual que para el resto de los sistemas constructivos y/o de gestión del agua, cada tipo de SUDS presenta una serie de beneficios y limitaciones, que se detallan en este apartado.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 23 de 110





## 3.4.1.1. Cubierta vegetada

#### Descripción general



Figura 15. Cubierta vegetada en Benaguasil-ES.

Las cubiertas vegetadas son un sistema multicapa instalado en la cubierta de un edificio. Está compuesto por una capa superficial de vegetación sobre una capa drenante y una membrana impermeable. Su acción imita a la de una esponja, reteniendo agua cuando sobra y cediéndola cuando falta. La capa drenante evacúa el excedente de agua y la almacena temporalmente, sirviendo como riego pasivo durante épocas secas.

En función del tipo de la vegetación implantada, existen dos tipos de cubiertas vegetada:

- Las cubiertas extensivas: aquellas constituidas por especies crasas, las cuales tienen una alta capacidad de almacenamiento de agua en hojas, tallos y raíces, y cuyas especies son en su gran mayoría rastreras, pudiendo desarrollarse fácilmente en sustratos pobres. Ejemplares de estas características suelen pertenecer al género sedum. Por este motivo, no es necesario para este tipo de cubierta vegetada un gran sustrato, siendo suficiente con espesores de entre 3 y 20 cm. Al tratarse de formaciones vegetales de porte rastrero y extensivo, suelen ocupar la mayor parte de la cubierta.
- Las cubiertas intensivas: integradas por ejemplares vegetales que alcanzan un porte vertical, por lo que se emplean sustratos de mayor espesor, generalmente por encima de los 20 cm. Ocupan, por lo tanto, menos extensión de superficie y son la mejor opción para implementar usos recreativos.

## Sección tipo y principales componentes

Una cubierta vegetada consta, genéricamente, de una primera capa de vegetación desarrollada sobre un sustrato filtrante, bajo el cual se sitúa un sistema de drenaje/almacenamiento formado por un módulo de polipropileno de huecos cóncavos rellenados con gravas finas. Este conjunto de huecos airea el sustrato filtrante, retiene temporalmente el agua (permitiendo su uso posterior como riego pasivo en épocas secas) y evacúa el exceso de escorrentía. Debajo del sistema de drenaje y almacenamiento se instala una barrera antirraíces, para evitar el crecimiento radicular hacia el techo estructural, y, por último, ya en contacto con la estructura del edificio, se instala una membrana impermeable para evitar que la escorrentía dañe la cubierta. Respecto a la separación entre capas, se coloca un geotextil filtrante entre el sustrato y el sistema de drenaje para evitar la colmatación de los huecos cóncavos y, opcionalmente, entre el sistema de drenaje y la barrera antirraíces puede instalarse un aislante térmico para optimizar la eficiencia energética del edificio.

Adicionalmente, las cubiertas vegetadas deberán contar con un sistema de evacuación de aguas (para cuando la cubierta se sature), que, generalmente, constará de un sumidero con filtro de hojas conectado directamente a la bajante de pluviales.

En la Figura 16 y Figura 17 pueden observarse los componentes genéricos de una cubierta vegetada.

Página 24 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





 Vegetación de cubierta;
 Sustrato filtrante;
 Filtro/Geotextil;
 Sistema de drenaje tipo módulo de polipropileno;
 Barrera antirraices;
 Sistema de impermeabilización;

Figura 16. Sistema de drenaje y capas de una cubierta vegetada.



1. Vegetación de cubierta; 2. Sustrato; 3. Filtro/Geotextil; 4. Sistema de drenaje; 5. Barrera antirraices; 6. Sistema de impermeabilización; 7.Rebose.

Figura 17. Esquema de una cubierta vegetada.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 25 de 110





## Comportamiento del agua en una cubierta vegetada

La **entrada de agua** al sistema se produce de manera directa, gestionando únicamente el agua de lluvia que le cae encima.

Una vez que la cubierta vegetada capta los aportes de lluvia, el **agua dentro del sistema** penetra a través del sustrato filtrante. Se debe tener en consideración que, si bien, este tipo de sustratos filtrantes depuran un porcentaje de los contaminantes, en el caso de que el agua de lluvia estuviera parcialmente contaminada, la capacidad de fitodepuración de dicha capa sería insuficiente para remediarla por completo, puesto que el grosor de esta es escaso para cumplir dicha función, incluso en cubiertas intensivas.

. Por tanto, el agua puede presentar, en algunos casos, cierto grado de contaminación una vez traspasado el filtro, no obstante, los sólidos y parte de las partículas gruesas quedan atrapadas en el sustrato y en el geotextil, de modo que el agua llega libre de sólidos hasta los módulos de polipropileno, quedando almacenada y aprovechándose posteriormente para riego pasivo. Por otra parte, la vegetación utilizará parte de los contaminantes del sustrato y los transformará en elementos asimilables por las plantas, si bien esta función dependerá de las especies escogidas para la cubierta.

En cuanto a la **salida del agua del sistema**, tal y como se muestra en la Figura 16, se puede apreciar que la parte superior de los módulos de polipropileno presenta orificios. Este detalle justifica en mayor medida el control del volumen pluvial en una cubierta vegetada, pues el agua filtrada queda retenida temporalmente en las hendiduras cóncavas del módulo y, si el nivel del agua aumenta, esta sale por los orificios y se evacúa por el sumidero, recorriendo la bajante de pluviales y saliendo del sistema. Otro porcentaje del agua presente en la cubierta vegetada se almacena en el sistema vascular de las plantas, siendo la evapotranspiración la segunda forma de salida.

# Criterios de diseño

Se recomienda una **extensión** de vegetación que cubra entre el 50 y el 80 % de la cubierta, además de un margen de espacio libre que permita el acceso a instalaciones y mantenimiento. Para cubiertas con pendientes inferiores al 5 % es necesaria la colocación de sistemas de drenaje que eviten el encharcamiento, y si es mayor al 25 %, de elementos auxiliares que impidan la pérdida de sustrato por deslizamiento.

Deben evaluarse aquellos factores que afecten al desarrollo de las plantas, tales como los patrones de lluvia, la exposición al viento, las sombras proyectadas y la inclinación de la cubierta, entre otros.

Se considerará la saturación total de la cubierta vegetada tanto en el dimensionamiento de elementos estructurales de nueva edificación que contemplen la instalación de la misma, como en la comprobación de la capacidad portante en las estructuras existentes donde se desee instalar. Por otro lado, para ambas tipologías, aunque con mayor énfasis en la intensiva por su uso recreativo, es de vital importancia considerar el aforo máximo de usuarios de la cubierta, a fin de que la capacidad máxima de la estructura del edificio soporte tanto el peso del sistema saturado de agua como el peso de usuarios en el supuesto de máximo aforo.

Página 26 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





En cuanto a las **plantaciones**, se recomienda la elección de especies resistentes a períodos secos y húmedos, optando por especies autóctonas si es posible disponer de ejemplares que se adecúen a las condiciones de la cubierta. Opcionalmente, se puede incluir un sistema de riego.

## Beneficios

- Disminuye el volumen de escorrentía urbana, reduciendo el área impermeable y devolviendo el agua a la atmósfera mediante evapotranspiración.
- Se pueden implementar en nuevas construcciones o en edificaciones existentes, reduciendo el volumen de escorrentía sin necesidad de ocupar espacio público.
- Funciona como aislante térmico, optimizando la eficiencia energética de la edificación
- La vegetación de la cubierta genera un hábitat para aves e insectos y mejora la calidad del aire, absorbiendo CO2 y atrapando contaminantes y polvo. Atenúa los niveles de ruido y reduce el efecto isla de calor en entornos urbanos.

#### Limitaciones

- En algunos casos, puede ser necesario reforzar la estructura del edificio si el peso calculado para la cubierta vegetal en condiciones de saturación y del máximo aforo de usuarios que la utilicen, excede la capacidad portante del inmueble.
- Se pueden requerir riegos puntuales pasado el periodo de implantación para mantener una vegetación duradera.
- Generalmente, el coste en construcción y mantenimiento suele ser mayor que para las cubiertas convencionales, si bien las prestaciones, tanto para los propietarios como para el entorno urbano, son mucho mayores.
- Capturan y gestionan únicamente los aportes pluviales de la cubierta donde se instalan.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 27 de 110





#### 3.4.1.2. Parterres inundables

# Descripción general

Los parterres inundables son zonas vegetadas que se instalan contiguas a superficies impermeables para gestionar y tratar la escorrentía que estas generan. Están deprimidas respecto de la superficie adyacente y son una de las tipologías SUDS más versátiles respecto a su función, dado que gestionan tanto los parámetros de calidad como de cantidad del agua.

En función de la carga de contaminantes que posea la escorrentía aportada al sistema, los parterres inundables pueden clasificarse en:



Figura 18. Parterre inundable en Valencia-ES.

- Jardines de Iluvia: reciben escorrentías con niveles bajos de contaminación, tales como cubiertas y/o zonas peatonales. Al no tener que filtrar una gran cantidad de contaminantes, el espesor del medio filtrante suele ser de 0.3-0.5 m.
- Áreas de biorretención: reciben escorrentías con un nivel de contaminación elevado, principalmente zonas con tráfico rodado. Al tener que filtrar una cantidad relevante de contaminantes, el espesor del medio filtrante suele ser el doble que el de jardines de lluvia, entre 0,8 y 1,0 m.

Independientemente de la extensión que ocupe cada tipo de parterre inundable, la diferencia que radica entre un jardín de lluvia y un área de biorretención es únicamente el espesor de su medio filtrante, que será mayor o menor en función de la cantidad de contaminantes que arrastre la escorrentía generada en las superficies impermeables gestionadas.

#### Sección tipo y principales componentes

El sistema constructivo de un parterre inundable consta de una **primera capa** formada por un mantillo o suelo acolchado de aproximadamente 50 mm de espesor, situado en depresión a un máximo de -0,30 m respecto de la superficie adyacente, con una pendiente de talud no mayor a 3H:1V. El mantillo evita la pérdida de humedad e impide el desarrollo de vegetación en la base de las plantas, asegurando así la permeabilidad de la superficie. En este mantillo se dispone una vegetación con alta capacidad de remediación, y necesariamente de tipo versátil, es decir, resistente a períodos secos, húmedos y de encharcamiento temporal.

Bajo el mantillo y la vegetación se encuentra la **segunda capa**, más representativa del parterre inundable, que es el sustrato filtrante. Dicho sustrato está formado por una mezcla compuesta por un 70 % de tierra vegetal y un 30 % de arena de río lavada, si bien, según el caso, estas proporciones pueden variar. La tierra vegetal se obtiene ya preparada, y está enriquecida con tres nutrientes esenciales, que son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), dispuestos en proporciones adecuadas para el desarrollo óptimo de la vegetación. Además, dicha tierra vegetal está diseñada para mejorar la retención del agua en el sustrato con

Página 28 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





el fin de hacerla más accesible a las plantas. Sin embargo, dado que el sustrato del parterre inundable debe dejar filtrar el agua, se añade un porcentaje aproximado de un 30 % de arena de río lavada, que le proporcionará una mayor permeabilidad al sustrato filtrante, a la vez que aumenta su capacidad portante. Dicha mezcla debe contar con un valor de conductividad hidráulica entre 100 y 300 mm/h. Respecto al grosor de la capa, tal y como se ha comentado, es de 0,3-0,5 m si gestiona escorrentías poco contaminadas (jardín de lluvia) y de 0,8-1,0 m si gestiona escorrentía con niveles mayores de contaminación (área de biorretención).

Debajo del sustrato filtrante, correspondiéndose con la **tercera capa**, se dispone una subbase drenante, que puede estar formada por gravas de machaqueo de aproximadamente 20-40 mm o por una zahorra artificial drenante, con medidas granulométricas ligeramente variables según el caso. Esta subbase de gravas tendrá, habitualmente, un espesor aproximado de 0,2 m, si bien puede ser variable en función de las características del suelo. Si el terreno donde se apoya la capa de gravas es muy impermeable o presenta características de inestabilidad, su espesor puede aumentarse.

Si la permeabilidad del suelo es baja, o si no se desea infiltrar al terreno, se debe colocar un **tubo dren** embebido en la subbase de gravas. Generalmente, el tubo se situará en la parte superior de la capa, siempre y cuando se busque dejar una lámina de agua detenida temporalmente por debajo de dicho tubo. Puede añadirse más de un tubo dren, tanto en vertical como en horizontal, si la lluvia de diseño excede el volumen de almacenamiento disponible y la velocidad de vaciado.

Adicionalmente, el parterre inundable cuenta, generalmente, con **elementos de rebose**, para evitar que la cota de agua supere un punto o nivel máximo en la depresión superficial, drenándose antes por el sumidero o elemento de rebose. Tal y como vemos en las Figura 19 y Figura 20, el agua se puede evacuar desde el rebose hacia el tubo dren o desde el sumidero al colector de saneamiento. Otra opción es gestionar los reboses utilizando para ello otra tipología SUDS, como un pozo de infiltración.

En referencia a **la separación entre las capas**, entre el sustrato y la subbase de gravas puede colocarse una capa de transición con granulometrías intermedias, o envolver las gravas en un geotextil. Esto último permite separar las gravas de la subrasante y evitar el paso de sólidos desde el sustrato filtrante y desde el fondo de la excavación. Verticalmente, se dispone un geotextil en las paredes de la excavación y, opcionalmente, se coloca una membrana impermeable para evitar el paso lateral de agua y sólidos hacia las paredes de los firmes que están en contacto. Así mismo, se puede colocar una membrana impermeable en el fondo de las gravas si se desea evitar la infiltración al terreno. Tanto para la colocación de la membrana impermeable en las paredes como en el fondo de la excavación, se recomienda la colocación de un geotextil a ambos lados de la membrana con el fin de que las gravas (principalmente las de machaqueo, más puntiagudas) no perforen el material impermeable durante el relleno de la excavación. De este modo se evitan posibles fugas de agua por el dañado del material.

Respecto al **perímetro**, el sistema presenta bordillos de confinamiento con sus respectivos cimientos, del mismo modo que en los cambios de pavimento tradicional.

En las Figura 19 y Figura 20 se distinguen los principales componentes de un parterre inundable. En la Figura 19 se representa un esquema cuyo elemento de rebose conecta con el colector de saneamiento. Se puede,

Guía SUDS T.M. Murcia Página 29 de 110





asimismo, diferenciar la capa de mantillo o suelo acolchado, el sustrato filtrante y la subbase de gravas. En cuanto a la Figura 20, se representa el elemento de rebose drenando el agua hacia el tubo dren ranurado, con un segundo dren en la capa de gravas, y pudiéndose apreciar el bordillo de confinamiento y su cimentación en el perímetro del sistema. Si bien ambos esquemas incluyen tubos dren, si la permeabilidad lo permite, se debe priorizar la infiltración al terreno.



Figura 19. Sección tipo de un parterre inundable con sumidero conectado a colector.

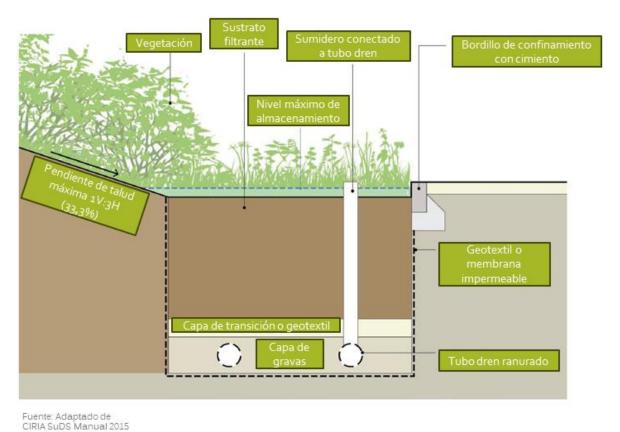


Figura 20. Sección tipo de un parterre inundable con sumidero conectado a tubo dren.

Página 30 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Respecto a los **elementos de entrada** de agua en el sistema, se pueden instalar elementos auxiliares en el perímetro, tales como bordillos discontinuos, canaletas transversales o entradas puntuales, en caso de que el parterre esté delimitado por un bordillo elevado o si existen obstáculos entre el parterre inundable y la superficie adyacente. En tales circunstancias, es común colocar disipadores de energía, como gravas, para evitar la erosión del talud ante el aumento de velocidad del agua en el estrechamiento de la entrada.



Escorrentía procedente de zonas impermeables adyacentes;
 Dispositivo de entrada de escorrentía;
 Vegetación;
 Medio filtrante;
 Geotextil perimetral;
 Capa drenante;
 Tubo dren (si fuese necesario).

Figura 21. Esquema tipo de un parterre inundable y elementos auxiliares que permiten la entrada de escorrentía.

### Comportamiento del agua en un parterre inundable

La entrada del agua al interior del sistema se produce por ingreso directo de lluvia, por escorrentía desde las superficies impermeables adyacentes y, con menor frecuencia, desde las bajantes pluviales.

Una vez que la escorrentía alcanza la superficie del parterre, **el agua dentro del sistema** atraviesa los huecos del mantillo y se filtra, en parte, a través del sustrato. Sin embargo, el sustrato filtrante no percola el agua hasta que pierde totalmente su humedad, sino que almacena un porcentaje de esta, reteniendo elementos contaminantes como metales pesados y nutrientes principales como el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), que suponen un claro problema por su capacidad de eutrofización de las aguas y posterior pérdida de la biodiversidad. En este punto, y dentro del medio húmedo, se crea una interacción entre las raíces de las plantas y la microbiocenosis asociada, es decir, el conjunto de organismos microbianos asociados a las plantas, a sus raíces y al medio húmedo del sustrato. Dicha interacción entre los organismos microbianos y

Guía SUDS T.M. Murcia Página 31 de 110





la vegetación genera una simbiosis que se resume del siguiente modo: los elementos contaminantes, como puede ser el nitrógeno, en su estado puro no son asimilables por las plantas, sino que tienen que sufrir un proceso de ciclado para ser utilizados por la vegetación. Ese proceso de transformación de los elementos contaminantes a productos asimilables lo realizan las bacterias del suelo, convirtiendo, por ejemplo, el nitrógeno en nitritos y posteriormente en nitratos, pudiendo estos dos últimos ser utilizados por las plantas. Dichas bacterias utilizan prestada la energía de las plantas para realizar dicha transformación, y las plantas se benefician de ello al recibir nutrientes asimilables. Este ciclo de simbiosis permite, por lo tanto, la remediación de gran parte de contaminantes arrastrados por la escorrentía. Cuanto mayor es el hábitat microbiano contenido en el sustrato filtrante, mayor es la capacidad de biorremediación. Por esa misma razón, se construyen, para el tratamiento de la escorrentía proveniente de calzadas con una carga elevada de contaminantes, áreas de biorretención con un sustrato filtrante de mayor espesor.

Un aspecto prioritario a tener en cuenta en los parterres inundables es que la transformación de los elementos contaminantes en productos asimilables por las plantas se realiza, generalmente, en períodos de anoxia. Es decir, es en ausencia de oxígeno cuando la simbiosis entre las bacterias y la vegetación se acelera. Estos períodos de anoxia se producen cuando el medio filtrante se satura de agua y el oxígeno se agota, algo que sucede durante el encharcamiento. Por esa misma razón es fundamental, si queremos depurar el agua de escorrentía, dejar que el agua del parterre inundable permanezca un tiempo en estanqueidad y el suelo en estado de saturación, sin sobrepasar en ningún caso el límite de 48 horas de permanencia.

En cuanto a **la salida del agua del sistema**, esta se da por infiltración al terreno, mediante los tubos dren y/o los elementos de rebose y por evapotranspiración a través del suelo y las plantas. En cuanto a esta última forma de salida, la tasa de evaporación del suelo es reducida por la presencia del mantillo en la superficie del parterre inundable, cuya función, entre otras, es evitar la pérdida de humedad del suelo.

# Criterios de diseño

En cuanto a la **geometría** del parterre inundable, se tendrá en cuenta un ancho mínimo de 0,60 m, pues parterres más estrechos suelen suponer una mayor dificultad para la puesta en obra. Las pendientes laterales no deben sobrepasar el 3H:1V (33,3 %), con el fin de evitar su erosión, y la profundidad del rebaje superficial no debería exceder los 0,3 m de profundidad. La base del sistema debe ser lo más plana posible para facilitar la infiltración y la detención temporal del agua. Si el eje longitudinal donde se plantea la construcción del parterre inundable forma una pendiente medianamente pronunciada, se debe disponer el sistema en aterrazamientos.

En cuanto a los **materiales**, el medio filtrante, como se ha comentado, debe tener la cantidad suficiente de arena de río lavada que dote al sustrato de un rango de conductividad hidráulica situado entre 100 y 300 mm/h. En cuanto a las capas de transición, pueden emplearse gravas de granulometría intermedia o láminas geotextiles, evitando en ambos casos la colmatación de la subbase de gravas.

Se colocarán gravas y/u otros materiales en las entradas de agua al parterre para evitar la erosión de sus paredes, pues ante eventos de lluvia mayores y ante el estrechamiento de las entradas, la velocidad del fluido en estos puntos aumenta considerablemente.

Página 32 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Para permitir la **infiltración**, la permeabilidad del suelo debe ser > 10<sup>-6</sup> m/s, asegurando el vaciado en menos de 48h. Además, el fondo del parterre no deberá estar a una distancia menor a 1 m del nivel freático ni construirse cerca de cimentaciones.

Para las **plantaciones**, se optará por utilizar plantas autóctonas siempre y cuando existan ejemplares que se adecúen a períodos alternos de lluvia, sequía y anegamiento. En cuanto a cantidad de vegetación, dado que se busca una tasa elevada de descontaminación del agua, el cubrimiento vegetal debe tener una densidad elevada, de aproximadamente 6-10 plantas/m².

#### Beneficios

- Es una de las tipologías de SUDS más versátil. Controla tanto parámetros de cantidad, al detener temporalmente el agua, laminarla posteriormente e infiltrarla según el caso, como de calidad, al fitodepurar el agua contaminada arrastrada por las superficies impermeables adyacentes.
- Son muy flexibles a la hora de diseño, pues se puede proyectar en distintos tamaños y formas, presentando por ello una gran adaptabilidad a distintos medios.
- Mejoran la calidad paisajística y la biodiversidad en la zona donde se construyen, creando pequeños hábitats locales que sirven de refugio a pequeños animales, aves e insectos.

#### Limitaciones

- La vegetación, generalmente, requiere un mantenimiento periódico, principalmente en los primeros tres años de asentamiento de los ejemplares, no debiendo emplear fertilizantes o productos químicos que puedan generar el efecto contrario al de remediación de la escorrentía.
- El agua debe evacuar el sistema en menos de 48 horas, pues a pesar de que los períodos de encharcamiento son necesarios para el ciclado de nutrientes y asimilación de contaminantes, un anegamiento prolongado puede generar problemas de olores y/o la proliferación de mosquitos.
- No suelen construirse a distancias menores a 2-3 m respecto de las cimentaciones, debiendo utilizar geomembranas de protección si se justifica un acercamiento mayor a la estructura.
- Si no se emplea la capa de mantillo o suelo acolchado, es importante vigilar el crecimiento radicular excesivo de las especies de bajo porte ya que podría suponer la impermeabilización parcial de la superficie del parterre, impidiendo el drenaje del agua y la aireación del suelo.

Los parterres inundables, tal y como aquí se expone, son una solución versátil, tanto para la gestión de la cantidad como para la mejora de la calidad del agua, sirviendo además como elementos de mejora del paisaje y de la biodiversidad local.

Sin embargo, en función de las necesidades del proyecto, es posible que se busque una solución más centrada en una de estas dos funciones. A continuación, se exponen dos tipologías de SUDS, una centrada principalmente en la gestión de la cantidad (balsas de detención e infiltración) y otra principalmente enfocada a la gestión de la calidad (humedales y estanques artificiales).

Guía SUDS T.M. Murcia Página 33 de 110





#### 3.4.1.3. Balsas de detención e infiltración

# Descripción general

Las balsas de detención e infiltración son depresiones en el terreno cuya función principal es la detención temporal de la escorrentía para su posterior laminación, y para aquellos suelos que sean lo suficientemente permeables, la infiltración. Si bien la mayor parte de estas depresiones se vegetan, obteniendo con ello mejoras paisajísticas y aumentando la retención de sedimentos arrastrados y la depuración del agua.

Las balsas están diseñadas para ser funcionales a la hora de evacuar el agua, por lo que se prioriza la gestión de la cantidad por encima del tratamiento. Por ello, deben drenar completamente el agua que reciben entre las 24 y 48 h siguientes al evento de lluvia, estando nuevamente disponibles para el siguiente evento tras su vaciado.



Figura 22. Balsa de detención en Madrid-ES.

Existen dos tipos de balsas, dependiendo de si la función del sistema es laminar el agua o infiltrarla al terreno:

- Balsas de detención: son aquellas que están construidas en zonas impermeables y que se diseñan para evacuar el agua lentamente a través de un desagüe de fondo controlado.
- Balsas de infiltración: se ubican en terrenos permeables y están diseñadas para infiltrar las escorrentías que reciben.

#### Sección tipo y principales componentes

Una balsa de detención e infiltración consta de una depresión, con unas dimensiones mayores a las de un parterre inundable, cuya entrada y salida del agua se sitúa en puntos alejados entre sí, lo que permite al sistema maximizar la detención del agua. Los puntos de entrada y salida, que en número pueden variar en función del tamaño de la balsa y de la disposición de las escorrentías, cuentan con disipadores de energía para evitar la erosión de los taludes cuando el agua entre y salga por ellos.

Generalmente, las balsas se disponen en dos vasos intercomunicados. El primero de ellos recibe el agua y la detiene temporalmente para favorecer la precipitación de sedimentos y de partículas contaminantes. Este primer vaso de sedimentación puede recibir la escorrentía generada por las superficies adyacentes (en paralelo), o mediante un desvío procedente o no de un rebose (en línea). Adicionalmente, se puede instalar un separador hidrodinámico previa entrada al sistema, especialmente cuando, por condicionantes del proyecto, no es posible construir la balsa en dos vasos. En cambio, cuando la balsa se proyecta con dos vasos intercomunicados, no se suele incluir el separador hidrodinámico puesto que el primer vaso de sedimentación cumple dicha función.

Las capas constructivas de una balsa de detención y de infiltración dependen, fundamentalmente, del modo de gestión del tratamiento de las aguas en un contexto de tren de SUDS a mayor escala, donde se instale la balsa. En este sentido, las balsas se ocupan principalmente de la gestión de la cantidad de agua,

Página 34 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





si bien, en muchos casos los aportes de escorrentía que reciba pueden contener un nivel más o menos elevado de contaminación. En este contexto, existen tres situaciones que determinarán el detalle constructivo de la balsa:

- 1. La balsa se sitúa en el final de la cadena de tratamiento de agua, y los aportes que recibe ya han sido tratados aguas arriba con otras tipologías SUDS, tales como parterres inundables y/u otros dispositivos alternativos como separadores hidrodinámicos o filtros compactos. En este caso, el agua que llega a la balsa ya está tratada, por lo que no sería estrictamente necesaria la colocación de un sustrato filtrante, a no ser que se incluya vegetación en la superficie, lo cual es recomendable.
- 2. La balsa se sitúa en el final de la cadena de tratamiento de agua, y los aportes que recibe han sido parcialmente tratados o no han sido tratados en ningún punto aguas arriba. En este caso, la balsa va a tener que gestionar tanto la cantidad como la calidad del agua, por lo que deberá disponer de un sustrato filtrante vegetado en superficie, que deberá tener un espesor adecuado al tratamiento del agua y/o dispositivos alternativos como separadores hidrodinámicos o filtros compactos.
- 3. La balsa se sitúa en una posición intermedia en la cadena de SUDS, y el tratamiento del agua puede realizarse mediante otras tipologías aguas abajo. En este caso, al igual que para el punto uno, no sería estrictamente necesaria la colocación de un sustrato filtrante, a no ser que se incluya vegetación en la superficie. Este tercer caso es aplicable para la balsa de detención. Si en dicho punto intermedio se quiere infiltrar el agua, necesariamente debe tratarse para devolverla sin contaminantes al terreno natural.

Si se debe aplicar un tratamiento en la balsa debido a la condición y procedencia del agua, es necesario colocar un sustrato filtrante, cuyo espesor será variable en función del nivel de contaminación de la escorrentía que llegue al sistema. Debajo del sustrato, se instalará una subbase de gravas, que podrá envolverse con un geotextil o ir precedida de una capa de transición con granulometrías intermedias.

En cuanto a los **elementos de salida del agua**, una balsa de detención cuenta con un desagüe en el fondo de la depresión y un aliviadero para evitar que el nivel de la lámina de agua supere el volumen de diseño. Por otra parte, una balsa de infiltración cuenta únicamente con un aliviadero que se coloca a la máxima altura del volumen de diseño. Es decir, una vez que la profundidad superficial del agua supera el volumen que puede infiltrarse en menos de 48 horas, se evacúa por el aliviadero, asegurando los tiempos de salida del agua del sistema.

Dependiendo del tipo de topografía sobre la que se construya la balsa, así como por las necesidades del proyecto, el **confinamiento de la balsa** puede estar formado por muros de contención, taludes vegetados y/o soluciones basadas en bioingeniería. Si bien la forma más común de cerrar una balsa de detención o infiltración es con vegetación en el perímetro, pueden proponerse soluciones mixtas entre taludes vegetados, muros y/u otros elementos de contención.

En las Figura 23 se ilustra, mediante un esquema tipo, una balsa de detención con su desagüe en el fondo, y una balsa de infiltración, sin desagüe de fondo y con infiltración al terreno. Ambos tipos de balsa deben contar con elementos de rebose, tales como los aliviaderos que se representan en dichas figuras, con la

Guía SUDS T.M. Murcia Página 35 de 110





finalidad de no superar para ningún caso el volumen de diseño, y permitir, además, la evacuación del agua en un máximo de 48 horas.

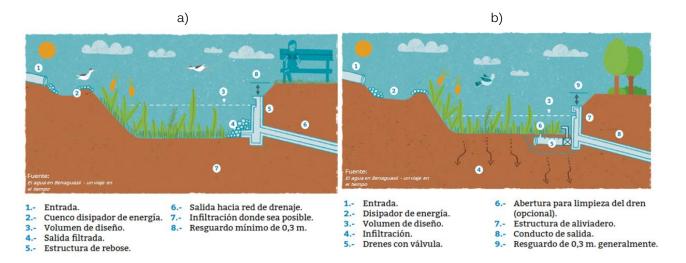


Figura 23. a) Sección tipo de una balsa de detención con desagüe en el fondo; b) Sección tipo de una balsa de infiltración con aliviadero y sin desagüe en el fondo.

En la siguiente Figura 24 se muestra una balsa de infiltración. En ella se puede apreciar que la entrada de agua se realiza desde las superficies adyacentes hacia un vaso de sedimentación situado a una cota mayor que conecta directamente con el segundo vaso. Por otra parte, el agua también llega al sistema directamente desde un tubo.



Figura 24. Esquema de una balsa de infiltración.

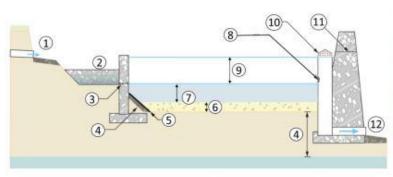
Página 36 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





En cuanto a la conexión entre vasos, el agua permanecerá estancada en el primer vaso de sedimentación, generando una precipitación de los sedimentos y contaminantes que la escorrentía ha ido arrastrando desde aguas arriba. En este punto, y en función del diseño de la conexión entre vasos, se presentan los siguientes escenarios:

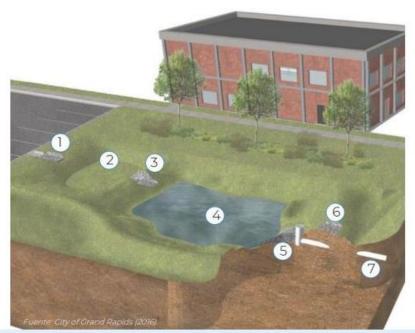
- 1. El vaso de precipitación de sólidos y la balsa están conectados mediante un tubo situado bajo un sustrato filtrante y/o de sedimentación. Por lo tanto, el agua pasa decantada y/o depurada al resto de la balsa (Figura 25).
- 2. El vaso de precipitación de sólidos y la balsa están conectados desde sus respectivas superficies. En este caso, el agua pasa decantada al resto de la balsa, con un aumento de velocidad o resalto hidráulico en el punto de trasvase de un vaso a otro, precisando elementos disipadores de la energía (Figura 26).



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

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

Figura 25. Conexión entre vasos desde el fondo del vaso de sedimentación.



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

Figura 26. Conexión entre vasos desde la superficie del vaso de sedimentación.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 37 de 110





Estas dos formas de conexión entre vasos son las más comunes, no obstante, pueden proyectarse soluciones mixtas, conectando los vasos tanto en el fondo como en la superficie. Este diseño permitiría infiltrar y depurar, en el primer vaso, las primeras escorrentías (*first flush*) y evacuar desde la superficie de un vaso a otro los excedentes que no se puedan infiltrar. Esta solución mixta resulta interesante en aquellas balsas con superficies duras, tal y como se muestra en la Figura 27, que necesiten evacuar rápidamente el aqua sin recibir escorrentía con



Figura 27. Balsa de detención con uso complementario recreativo.

sólidos y/o un alto grado de contaminación que degraden los materiales constructivos.

En cuanto a las **tipologías**, una balsa de detención e infiltración puede estar conformada por superficies vegetadas, proporcionando un tratamiento al agua además de gestionar la cantidad, o por superficies no vegetadas o duras, priorizando la detención y la laminación de la escorrentía. Respecto a las balsas con superficies no vegetadas, estas pueden incluir usos recreativos y/o paisajísticos en los períodos secos (Figura 27).

#### Comportamiento del agua en una balsa de retención e infiltración

La entrada del agua al interior del sistema, como se observa en la Figura 24, sucede por ingreso directo de la lluvia que cae encima, por escorrentía desde las superficies impermeables adyacentes y mediante entradas puntuales. En referencia a estas últimas, el agua puede ingresar a la balsa mediante un tubo enterrado o bien mediante un canal en superficie.

Generalmente, el agua aumenta su velocidad una vez pasa por el conducto o canal superficial debido al estrechamiento de la sección de entrada. Esta situación conlleva un incremento de la fricción del agua con el talud en dicho punto, razón por la cual se deben colocar elementos disipadores de energía que impidan la erosión de los taludes.

Respecto al comportamiento del **agua en el interior del sistema**, esta se detendrá temporalmente en el primer vaso precipitando los sólidos y parte de los contaminantes. En una balsa de detención, su evacuación será prioritaria y sólo podrá fitodepurarse si se añade un sustrato filtrante y vegetación en alguno de sus dos vasos. En el caso de una balsa de infiltración, el agua sufrirá un proceso de depuración mediante la vegetación y el sustrato filtrante, previa infiltración al terreno.

En cuanto a la **salida del agua del sistema**, ésta podrá infiltrarse al terreno o descargarse a la red, bien por el tubo situado en la base del sistema o por los aliviaderos. Si se incluye vegetación en la superficie, otra vía de salida será la evapotranspiración.

Página 38 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





#### Criterios de diseño

En cuanto a la **geometría** de la balsa, se optará por dividir el sistema en dos vasos intercomunicados, facilitando, además de la sedimentación de sólidos y contaminantes, las labores de mantenimiento. La conexión entre vasos contará con elementos de disipación de energía, tales como gravas u otras soluciones similares, para evitar la erosión de las paredes del talud. Las pendientes de los taludes perimetrales serán inferiores de 3H:1V. Respecto a la sección transversal de la balsa, la relación entre la longitud/ancho debe ser entre 3:1 y 5:1. Además, se deberá considerar un acceso sencillo y práctico para el posterior mantenimiento.

En referencia a la pendiente de la superficie del sistema, para balsas de infiltración se buscará una base lo más plana posible para facilitar la infiltración de agua al terreno, en cambio, para balsas de detención se inclinará ligeramente la pendiente hacia el punto de salida para optimizar la evacuación de agua. En cuanto al calado de la balsa, se considerará un mínimo de 0,5 m de profundidad desde la coronación del sistema hasta la base. Adicionalmente, y siempre que sea posible, se dejará un resguardo de seguridad de 0,30 m entre el volumen máximo de diseño y la coronación de la balsa (punto 9 de la Figura 25).

La **entrada de agua** dispondrá de elementos de disipación de energía, tanto en los puntos de entrada como en el transvase de agua de un vaso a otro, si se prevé un resalto hidráulico o velocidades que puedan erosionar el sistema.

En cuanto a la **salida del agua**, y para las balsas de detención, se optará por colocar válvulas de vórtice si el conducto para laminación se considera reducido, evitando así su posible obstrucción. Adicionalmente, el punto de salida deberá contar con una rejilla para la captación de sólidos gruesos y elementos de disipación de energía. Se priorizará la construcción de una balsa de infiltración siempre que la permeabilidad del suelo sea mayor que 10-6 m/s, con una distancia mínima de 1 m respecto a la superficie del nivel freático. Por otra parte, dichos SUDS contarán con elementos de rebose, y un aliviadero de emergencia si se prevén eventos de lluvia que puedan producir inundaciones.

Respecto a la **vegetación**, se buscarán ejemplares adaptados a períodos secos, húmedos y de anegamiento temporal, priorizando la elección de especies autóctonas que cumplan dichos criterios. Se considerará incluir vegetación en los taludes de la balsa para mejorar el pretratamiento y velocidad de la escorrentía e incorporar una elevada densidad de vegetación en la base. De esta forma, se mejorará la capacidad fitodepuradora del sistema y se evitará la erosión de la superficie de la balsa.

### **Beneficios**

- Reducen el caudal punta, laminando lentamente el agua a la red de saneamiento, de modo que se trata de un sistema realmente efectivo contra el riesgo de inundación.
- Las balsas que cuentan con un sustrato filtrante y vegetación contribuyen notablemente en la gestión de la calidad del agua.
- Los costes de construcción y mantenimiento son, generalmente, bajos.
- Al ser estructuras superficiales, los fallos de funcionamiento son, generalmente, bajos.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 39 de 110





- Aunque las balsas ocupan grandes superficies, son versátiles en cuando a forma y apariencia, por lo que presentan una buena adaptación al medio y pueden adaptarse tanto al paisaje urbano como al natural, incluyendo usos recreativos si el proyecto lo demanda.
- Pueden incluir una amplia variedad de especies vegetales, contribuyendo a la mejora de la biodiversidad y a la creación de hábitats.

#### Limitaciones

- Por lo general, ocupan superficies de gran tamaño, si bien, la prestación ecosistémica y de control de la cantidad y calidad del agua es elevada.
- Puede producirse una resuspensión de los materiales sedimentados en la primera cámara de sedimentación, pudiendo requerir su eliminación periódica. Por esta razón, se opta por controlar lo máximo posible la velocidad del agua en el punto de entrada.
- Si se añaden usos complementarios tales como parques de recreo o pistas deportivas, será necesaria una mayor frecuencia en las labores de mantenimiento y/o soluciones de pretratamiento del agua más completas.
- El conducto de salida puede obstruirse fácilmente si no se diseña de forma correcta o no se le realiza un mantenimiento periódico.

Página 40 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





### 3.4.1.4. Humedales y estanques artificiales

### Descripción general



Figura 28. Estanque artificial en Tarragona-ES.

Si bien las balsas de detención e infiltración gestionan de forma prioritaria la cantidad de agua y, de forma complementaria, la calidad, los humedales y estanques artificiales funcionan de forma inversa. Un humedal o estanque artificial prioriza, fundamentalmente, el tratamiento de la escorrentía y la gestión paisajística y de la biodiversidad. De forma secundaria, son capaces, además, de almacenar volúmenes considerables de agua. Se diferencian de una balsa en que disponen de una lámina

permanente de agua en su superficie y variaciones en la profundidad, sin presentar nunca períodos con ausencia de agua. No contemplan, por lo tanto, la infiltración, y únicamente evacuarán los excedentes de agua mediante aliviaderos de control.

Un humedal y/o estanque artificial contará siempre con una superficie vegetada, por lo que al permanecer el agua generalmente estática y con una densidad alta de vegetación, la capacidad de fitorremediación es mucho mayor que en una balsa o parterre inundable, cuyos períodos de estanqueidad son menores en el tiempo y fluctúan con mayor frecuencia por su necesidad de evacuación del agua. En este contexto, un humedal o estanque artificial está compuesto por:

- Una lámina de agua permanente (almacenamiento muerto) que se mantendrá durante todo el año y que contribuye a la gestión de la calidad de la escorrentía y de la biodiversidad.
- Una lámina de agua variable (almacenamiento vivo), que se encuentra sobre la lámina de agua permanente y que contribuye al control del caudal pico de salida.

En cuanto a tipología, se pueden diferenciar:

- Humedales artificiales: tienen una profundidad reducida y priorizan la gestión paisajística y de la biodiversidad, así como de la calidad del agua. Presentan una gran cobertura vegetal por lo que ofrecen sustento a hábitats de gran extensión.
- Estanques artificiales: son una versión adaptada de un humedal, pero con una menor extensión y una mayor profundidad. No gestionan hábitats con tanta superficie como un humedal, pero son más competentes en el control de grandes volúmenes de escorrentía.

## Sección tipo y principales componentes de un humedal y estanque artificial

Respecto a las capas constructivas, un humedal o estanque artificial constan de un sustrato preparado para el crecimiento de la vegetación y para su saturación, pero no para su filtración. El sustrato de un

Guía SUDS T.M. Murcia Página 41 de 110





humedal artificial estará compuesto, mayoritariamente, de tierra vegetal y demás compuestos que se adapten a la saturación de sus huecos, pero no al filtrado. En este contexto, surgen los siguientes escenarios:

- El terreno sobre el que se construye el humedal es permeable: en este caso, es necesario colocar una geomembrana impermeable que impida la infiltración al suelo. Por norma general, es común la colocación de un geotextil por ambas partes de la geomembrana para evitar que esta se dañe, evitando así fugas puntuales de agua. Si no hay fracciones de piedras puntiagudas u otros materiales que puedan dañar la geomembrana, es posible colocarla directamente sobre el terreno sin los geotextiles de protección, si bien, esta opción debe ser contemplada como segunda alternativa.
- El terreno sobre el que se construye el humedal es impermeable: en este caso, puede colocarse directamente el sustrato vegetal sobre el terreno. La colocación de un geotextil entre el terreno y el sustrato sería opcional.

Respecto a la forma de la superficie y profundidad de agua, se establecen criterios distintos según si se proyecta un humedal o un estanque artificial:

Para un humedal artificial con la superficie a la misma profundidad, la vegetación solamente se concentrará en los bordes del humedal, con el interior conformado únicamente por una lámina de agua. En este caso, la capacidad fitodepuradora y la calidad paisajística del sistema se reducen y no se replicaría la estructura y función de un humedal real. Por tanto, es prioritaria la proyección de una superficie con profundidades distintas para que la vegetación se instale tanto en el perímetro del sistema como por parches en el interior.

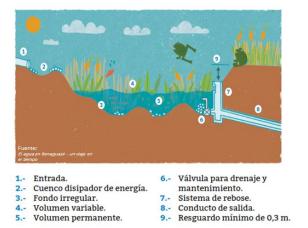


Figura 29. Sección tipo de un humedal con variedad de profundidades y vegetación intercalada.

Existen dos modos de diseñar un humedal artificial

que replique la variedad de profundidades de un humedal natural: establecer una topografía fija en su superficie, permitiendo que el agua entre lentamente al sistema sin modificar las formas proyectadas, o depositar porciones de sedimentos en distintas partes de la superficie para que el agua los remueva durante el caudal punta. Esta segunda opción reproduce en mayor grado el funcionamiento natural de un humedal, aportando mayores beneficios para la biodiversidad y permitiendo al sistema una mayor autorregulación.

Para un estanque artificial, al contrario que para un humedal, se buscan profundidades superiores que permitan un mayor almacenamiento de agua. Generalmente, al tener grandes profundidades en el interior del sistema, la vegetación se consolida únicamente en el perímetro, donde las profundidades son más someras. Por tanto, los estanques artificiales no tienen la misma capacidad biorremediadora que un humedal, pero sí que pueden gestionar volúmenes mayores de agua.

Página 42 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





En la Figura 30 se esquematiza un humedal artificial con distintas profundidades y con vegetación establecida en las zonas someras.



Entrada de escorrentía mediante tubería;
 Franja vegetada como pretratamiento;
 Lámina de agua permanente;
 Estructura de rebose

Figura 30. Esquema tipo de un humedal artificial.

### Comportamiento del agua en un humedal y estanque artificial

La entrada del agua al interior del sistema, el cual dispone de una lámina permanente (almacenamiento muerto), se produce por ingreso directo de la lluvia que le cae encima, por escorrentía de las superficies impermeables adyacentes y/o mediante conductos. El agua, en su paso por las entradas puntuales, aumenta la velocidad por estrechamiento de la sección, la cual se ve disipada, generalmente, por elementos que obstaculizan su recorrido, como gravas u otros elementos disipadores de la energía. Respecto al comportamiento del agua en el interior del sistema, esta circulará entre el sustrato vegetal y las estructuras de transporte de las plantas. Dado que el agua circulará lentamente, la estanqueidad y falta de oxígeno generará la simbiosis entre la microbiocenosis y las plantas, permitiendo el aprovechamiento de los nutrientes por la vegetación. Por tanto, el agua que permanecerá prácticamente estática en el interior del humedal suele experimentar procesos constantes de depuración de sus contaminantes. En cuanto a la salida del agua del sistema, la lámina de agua variable (almacenamiento vivo), se evacuará por el aliviadero del humedal o estanque una vez se supere el volumen de diseño. Adicionalmente, otra vía de salida será la evapotranspiración.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 43 de 110





#### Criterios de diseño

Respecto a la **ubicación** de estanques y humedales, deben instalarse en terrenos llanos, estables y prioritariamente impermeables. Pueden instalarse en zonas deprimidas naturales o excavadas, pero no deben construirse en zonas donde ya exista una lámina de agua. Si el terreno es permeable, deberá colocarse una geomembrana para evitar la infiltración al terreno. Adicionalmente, estos sistemas se consideran adecuados para cuencas que disponen de una superficie impermeable de gran tamaño: los estanques para áreas de 2-4 ha y los humedales de 4-10 ha. Debe señalizarse correctamente las zonas de agua permanente y variable, así como la limitación de usos, principalmente el baño.

La **profundidad** recomendada para la lámina de agua permanente será de 1,20 m como mínimo, pudiendo establecer profundidades menores de 0,60 m para el establecimiento de vegetación en parches a lo largo del sistema. Si se esperan profundidades mayores a 1,20 m, deberá incluirse un sistema de recirculación del agua para evitar que la estanqueidad se prolongue demasiado en el tiempo. Se establecerá una ratio de longitud-ancho de 3:1, de tal forma que el punto de entrada y salida del agua estén lo más alejados posible, potenciando la residencia del agua en su interior. Adicionalmente, y del mismo modo que para una balsa, pueden proyectarse distintos vasos interconectados entre sí.

La **entrada** de escorrentía se puede realizar mediante entradas puntuales desde las superficies adyacentes, o mediante conductos, debiendo colocarse disipadores de energía para evitar la erosión de las paredes laterales. Los taludes tendrán una pendiente máxima de 3H:1V (33,3 %), y adicionalmente se optará por la colocación de válvulas de vórtice en los puntos de **salida** de agua si se esperan grandes aportes de escorrentía que puedan dificultar la laminación de los excedentes.

En cuanto a las **plantaciones**, debe optarse, necesariamente, por ejemplares higrófilos, es decir, adaptados a medios acuáticos. Se priorizará el uso de especies autóctonas si se disponen de aquellas que se adecúen al sistema.

#### Beneficios

- Los humedales son especialmente eficaces en la fitodepuración del agua y los estanques en la reducción de los caudales punta, si bien en ambos casos prima la remediación del agua y la mejora de la biodiversidad por encima de la gestión de la cantidad.
- Es una técnica aconsejable cuando se quieren tratar cuencas de gran magnitud.
- Mejoran la biodiversidad y la calidad paisajística de la zona, sirviendo de enclave medioambiental y pudiendo servir como recursos educacionales.
- Suponen una mejora de la calidad del espacio, aumentando el valor ambiental y paisajístico.

#### Limitaciones

- No ofrecen una reducción elevada del volumen de escorrentía, si bien esa no es su función principal.
- Consumen grandes superficies de suelo, principalmente los humedales, al exigir una superficie elevada con profundidades reducidas. Por ello, son tipologías menos recomendadas en áreas densamente urbanizadas, cuya disponibilidad de espacio suele ser menor.

Página 44 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





- Conseguir una lámina permanente de agua puede presentar cierta dificultad si los períodos secos se prolongan demasiado en el tiempo.
- No son adecuados para suelos impermeables, salvo que se instale una geomembrana impermeable.
- La acumulación de sedimentos disminuye la capacidad de volumen de agua del sistema, por lo que suelen necesitar, generalmente, de sistemas de SUDS previos que separen los sólidos.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 45 de 110





### 3.4.1.5. Cunetas vegetadas

### Descripción general

Las cunetas vegetadas son estructuras lineales que cumplen la función de nexo con el resto de las tipologías de drenaje sostenible. En este contexto, las cunetas vegetadas tienen la función principal de servir como elementos de conducción del agua de un SUDS a otro o a la red, si bien tienen la capacidad, también, de fitodepurar la escorrentía recibida, fomentar su detención temporal y posibilitar su infiltración al terreno, transportando la escorrentía siempre en superficie.

Se trata de canales trapezoidales, generalmente anchos y buscando la sección óptima hidráulica de flujo en cauces abiertos, que tienen profundidades someras y que suelen estar recubiertos de vegetación. De forma simplificada, una cuneta vegetada es una adaptación de un parterre inundable, especializado para el transporte de la escorrentía y su asociación con elementos lineales. De este modo, se tratan de elementos de transporte sostenible de la escorrentía que sustituyen a los conductos tradicionales de drenaje pluvial, tratando los parámetros de cantidad y de calidad durante su recorrido.



Figura 31. Cuneta vegetada en Swindon-UK.

Por otra parte, una cuneta vegetada siempre va a buscar pendientes reducidas para poder retener durante más tiempo la escorrentía que recibe y mejorar su tratamiento durante el transporte. En este sentido, es habitual incluir elementos de contención transversal en aquellas cunetas vegetadas en pendientes mayores al 3%.

## Sección tipo y principales componentes

La sección constructiva de una cuneta vegetada consta de un sustrato filtrante sobre una subbase de gravas, entre los que se puede instalar un geotextil o capa de transición con granulometrías intermedias. La sección constructiva de una cuneta vegetada tiene, habitualmente, forma trapezoidal, con taludes más tendidos y depresiones superficiales más profundas que los parterres inundables. En caso de que la permeabilidad del terreno sea tal que no permita la infiltración, se colocará un tubo dren en la subbase de gravas. Por tanto, una cuneta vegetada no está ideada para gestionar el agua en puntos aislados, sino para el transporte de la escorrentía y su conexión con otras tipologías y/o red, aprovechando el recorrido para la gestión de la cantidad y de la calidad del agua.

En cuanto a la geometría y extensión de las capas, pueden proyectarse dos escenarios:

1. La vegetación que va a realizar los procesos de biorremediación se instalará únicamente en la base de la cuneta vegetada, pero no en los taludes (Figura 32). En este caso, la extensión de las capas constructivas se restringe a los límites de la base horizontal.

Página 46 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





2. La vegetación biorremediadora se va a instalar tanto en la base como en los taludes (Figura 33). En este caso, las capas abarcan la base de la cuneta y los taludes.



Figura 32. Sección tipo de una cuneta vegetada con las capas constructivas restringidas a la base vegetada.

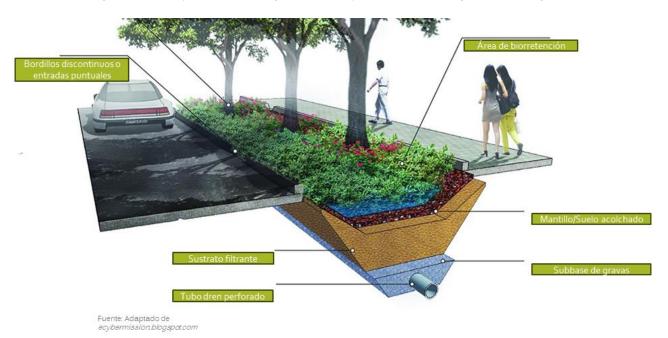


Figura 33. Sección tipo con las capas constructivas paralelar a los taludes y a la base.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 47 de 110







Figura 34. Cuneta vegetada con elementos de contención transversal o represas.

Respecto a la pendiente longitudinal de la cuneta vegetada, se construirán elementos de contención transversal o represas cuando las pendientes sean mayores al 3 %. Estos elementos de contención transversal se colocarán, dependiendo del grado de inclinación, a intervalos de 10-20 m de distancia. En este caso, el agua pasará de un vaso a otro mediante un pequeño resalto hidráulico, de modo que se instalarán elementos disipadores de energía en el pie de cada murete o solución análoga, evitando así la erosión. Estas barreras transversales aumentarán el tiempo de detención y de infiltración al terreno, funcionando de forma similar a varios parterres inundables colocados en fila, tal y como se puede apreciar en la Figura 34.

En cuanto a la **sección constructiva en el perímetro** de una cuneta vegetada, se construirán bordillos de confinamiento, con sus respectivos

cimientos, si está en contacto con

zonas pavimentadas. De este modo se evita que el empuje lateral de las superficies adyacentes acabe desmoronando los taludes del sistema.

Adicionalmente, puede sustituirse la subbase de gravas (30 % de índice de huecos) de la cuneta vegetada por una caja reticular (90 % de índice de huecos), aumentando el volumen de almacenamiento temporal y la capacidad portante del sistema. Esta solución puede apreciarse en la Figura 35.

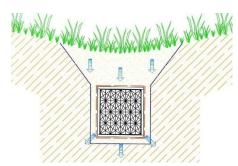


Figura 35. Sección de cuneta vegetada con caja reticular. Fuente: Atlantis.

## Comportamiento del agua en una cuneta vegetada

La entrada del agua al interior del sistema sucede por ingreso directo de la lluvia que le cae encima, por escorrentía de las superficies adyacentes y mediante entradas puntuales y/o conductos canalizados. El agua sufre prácticamente el mismo proceso de fitodepuración que en un parterre inundable, si bien al ser una tipología especializada en el transporte de la escorrentía, los tiempos de permanencia de agua suelen ser menores, a excepción de las que incluyen elementos de contención transversal. Estas últimas se mantienen anegadas más tiempo, aumentando la capacidad de biorremediación y permitiendo infiltrar más volumen de escorrentía.

La salida del agua del sistema se realiza mediante tubos dren y aliviaderos colocados en el límite geométrico. Por otra parte, también se evacúa por infiltración (si el terreno es permeable) y por evapotranspiración a través del suelo y de las plantas.

#### Criterios de diseño

En cuanto a la **geometría**, la sección trapezoidal es la más común, pues facilita la puesta en obra y el mantenimiento. La base de la cuneta suele presentar anchos de entre 0,5 y 3,0 m, con pendientes longitudinales situadas entre 0,5 y 5 %. Si las pendientes son inferiores a 0,5 % y el terreno no es permeable,

Página 48 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





se deberá colocar un tubo dren perforado en la subbase de gravas. En cuanto a las pendientes laterales, deberán ser tendidas, con valores de 3H:1V o 4H:1V si la disponibilidad de espacio lo permite.

Los elementos de contención transversal o represas pueden instalarse en pendientes de hasta un 10% y estar formados por gaviones, muros de madera, tablestacas u cualquier otro tipo de contención, ofreciendo, en este aspecto, una gran libertad en el diseño. El elemento de contención debe extenderse hasta la coronación de los taludes laterales, pues alturas inferiores pueden provocar que se genere un bypass si el evento de lluvia supera el volumen de diseño. Deben incluirse, además, elementos disipadores de energía entre una represa y otra para evitar la erosión que pueda provocar el resalto hidráulico o el aumento de velocidad del agua en el punto de transvase.

El diseño de una cuneta vegetada debe asegurar su vaciado en un máximo de 48 h.

Se priorizará la entrada de agua mediante escorrentía lateral y del modo más distribuido posible para evitar el paso de grandes volúmenes en puntos concretos. Adicionalmente, se colocarán elementos disipadores de la energía en las entradas puntuales, si el proyecto las demanda. Es posible la entrada de agua desde una conducción subterránea.

Se instalará una vegetación resistente a períodos de sequía, de humedad y de anegamiento temporal, utilizando especies con una capacidad elevada de biorremediación. Se priorizará el uso de especies autóctonas si se disponen de ejemplares que cumplan dichas características.

Si no es posible evitar el aparcamiento o tránsito de vehículos en el margen de la cuneta vegetada, es prioritaria la construcción de un confinamiento adecuado a las cargas laterales que vaya a soportar el sistema.

## **Beneficios**

- Son la mejor opción si se pretende transportar y tratar la escorrentia, ya que durante su recorrido se favorecen los procesos de precipitación de sólidos, de filtración del agua y de infiltración al terreno.
- Son económicamente viables y permiten convertir el transporte de la escorrentía en un tratamiento del agua en sí mismo.
- Cuando se incluyen barreras transversales, se aumenta el tiempo de retención del agua, mejorando la gestión de su cantidad y de su calidad, además de generar tasas de infiltración mayores.
- Mejoran la biodiversidad y aumentan la calidad paisajística del lugar. Además, al no tener una gran profundidad, no generan grandes riesgos para la seguridad.
- En zonas donde el transporte de sedimentos es elevado, esta tipología presenta una mayor facilidad de mantenimiento en comparación con otras técnicas.

### Limitaciones

La pendiente del terreno limita en cierta manera la construcción de una cuneta vegetada, pues terrenos muy llanos no son demasiado eficaces en el transporte por gravedad y las pendientes más elevadas o desniveles de cota considerables requieren de un número elevado de barreras transversales.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 49 de 110





- Para presentar una mayor seguridad, necesitan taludes tendidos. Esto dificulta su implementación en zonas consolidadas, donde la disponibilidad de espacio suele verse reducida.
- Es posible que se genere una resuspensión de sólidos, principalmente en las represas, donde el resalto hidráulico entre vasos o el aumento de la velocidad del agua pueden levantar los sólidos arrastrados desde aguas arriba por la escorrentía.
- Requiere de elementos que restrinjan el aparcamiento en su perímetro, pues la carga de tráfico en el límite del sistema puede generar compactaciones del terreno, posibles desmoronamientos de los taludes laterales y/o flujos de entrada de agua en puntos concretos.

Página 50 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





### 3.4.1.6. Pavimentos permeables

#### Descripción general

Un pavimento permeable es una estructura portante formada por un paquete de firme que permite la filtración de la escorrentía hacia una capa inferior (subbase), que puede estar formada por gravas, celdas o cajas reticulares. Una vez el agua se filtra hasta la subbase, se evacúa mediante infiltración al terreno y/o a través de drenes. La terminación del pavimento puede ser de pavimento continuo, como el asfalto u hormigón poroso, o de pavimento modular/discontinuo, como los adoquines permeables por junta y/o por material.



Figura 36. Pavimento permeable en Bétera-ES.

Existen dos tipologías de pavimento permeable en función del tipo de superficie permeable:

- Pavimentos porosos: es el propio material quien permite filtrar el agua a través de toda su superficie, la cual está compuesta por asfalto permeable, hormigón poroso o sistemas de malla o geocelda. El asfalto y hormigón poroso permiten el paso del agua a través de los huecos que existen en el agregado. En cuanto a los sistemas de malla/geocelda, están formados por estructuras reticuladas de asfalto u hormigón que se rellenan de vegetación o grava por donde puede percolar el agua.
- Pavimentos permeables por junta: en este caso el agua se filtra por el espacio que dejan las juntas entre las distintas piezas o adoquines del acabado del pavimento, pudiendo estar estas últimas fabricadas con material poroso o no. Las juntas por las que se filtra el agua pueden estar formadas de distintos materiales permeables, como gravillín, arena o vegetación, y posibilitan el filtrado de sedimentos y de contaminantes.

De forma genérica, los pavimentos permeables se construyen en áreas de tránsito peatonal, en áreas de estacionamiento o en zonas donde el tráfico rodado es reducido. Aunque no se trata de un firme diseñado para soportar grandes cargas, el sistema constructivo tendrá distintos espesores y la disposición de las capas podrá variar en función del peso que vaya a soportar.

## Sección tipo y principales componentes

De forma genérica, y atendiendo a la Figura 37, un pavimento permeable consta de un acabado continuo o discontinuo (1) situado sobre una cama de apoyo (2), formada generalmente por material fino como el gravillín o arrocillo. Debajo del asiento se sitúa una o dos capas drenantes con gravas o agregados porosos (4), que van separadas de la cama de asiento por un geotextil o por una capa de transición con granulometrías intermedias (3). En cuanto al perímetro del firme, suele instalarse una geomembrana impermeable a los lados del pavimento para que el agua filtrada no afecte a los firmes que están en contacto. Por otra parte, suele separarse del terreno mediante un geotextil (5).

Guía SUDS T.M. Murcia Página 51 de 110

Fuente: Adaptado de www.techo-bloc.com







Acabado modular permeable por junta y/o material;
 Cama de asiento;
 Capa de transición o geotextil;
 Base drenante de gravas con tubo dren;
 Separación del terreno con geotextil o membrana impermeable

Figura 37. Sección tipo de un pavimento permeable.

La sección constructiva de un pavimento permeable variará en función de las cargas a las que se vaya a someter y del volumen de almacenamiento que necesite gestionar. Atendiendo a dichos criterios se detallan a continuación, y con medidas de ejemplo, tres escenarios constructivos de un pavimento permeable:

- Secciones estructurales de firmes permeables **en aceras y paseos**: el grosor total del paquete de firme suele oscilar entre 36 y 43 cm y el acabado suele ser modular. Puede colocarse una única base de zahorra, pudiendo añadir una capa de hormigón poroso encima de la zahorra para ofrecer al pavimento una mayor capacidad portante.
- Secciones estructurales de firmes permeables en aparcamientos: el grosor total del paquete de firme suele oscilar entre 44 y 58 cm y el acabado puede ser modular o de tipo continuo. En este caso el paquete de firme consta de una base de hormigón poroso y una subbase de gravas/zahorra, que puede ser sustituida opcionalmente por un depósito reticular o una celda de drenaje.



Figura 38. Construcción de una celda de drenaje para un pavimento permeable. Fuente: Atlantis.

Sección estructural de firme para carril bici: el grosor total del paquete de firme oscila alrededor de los 40 cm y el acabado, generalmente, está formado por una capa de rodadura de asfalto poroso. Bajo la capa de rodadura se sitúa una base de hormigón poroso y una subbase de zahorra artificial drenante, pudiendo sustituirse por un depósito reticular o una celda de drenaje.

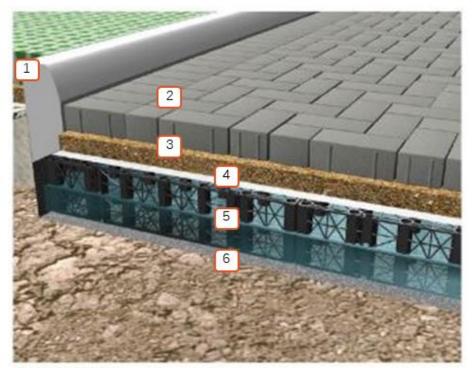
Como alternativa a la base o subbase de gravas/zahorra, puede colocarse un depósito de almacenamiento y/o infiltración con cajas reticulares (estructura en paralelepípedo como en la Figura 39), permitiendo así

Página 52 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





un mayor volumen de almacenamiento temporal, al disponer de un 90 % de índice de huecos, y un aumento de la capacidad portante del firme. Una segunda opción reside en colocar una **celda de drenaje** (estructura plana como en la Figura 39), entre el geotextil y la base de gravas u hormigón poroso. La función de una celda de drenaje no reside tanto en almacenar agua o infiltrarla, sino en servir de transporte plano, por lo que es común colocar una geomembrana impermeable debajo.



Fuente: Adaptado de Woods-Baillard et al. (2015).

Confinamiento lateral;
 Adoquín permeable por junta y/o por material;
 Cama de asiento con gravas finas,
 Geotextil;
 Depósito de almacenamiento/infiltración con caia reticular o Geotextil entre la caia reticular y el terreno

Figura 39. Pavimento permeable con una base formada por una caja reticular.

En cuanto al **confinamiento** lateral del sistema, se colocan bordillos de confinamiento con sus respectivos cimientos en cada cambio de pavimento, dimensionados en función de la fuerza generada por los empujes laterales.

### Comportamiento del agua en un pavimento permeable

La entrada del agua al interior del sistema sucede por ingreso directo de la lluvia que le cae encima y por escorrentía generada en las superficies adyacentes. El agua se filtra a través de los huecos de los materiales porosos o entre las juntas. En este último caso, los sólidos y un porcentaje de los contaminantes arrastrados por la escorrentía se quedan atrapados entre los huecos, por lo que el agua pasa algo depurada a las capas inferiores. Una vez en el interior del sistema, el agua puede permanecer detenida temporalmente en la base o subbase, ya sea en los huecos de una capa de gravas/zahorra o en los espacios de una caja reticular.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 53 de 110





Posteriormente, **el agua sale del sistema** vía infiltración al terreno, mediante un tubo dren o a través de un conducto desde un depósito reticular para su descarga laminada o reutilización posterior.

## Criterios de diseño

En cuanto a la **ubicación**, se evitará instalar junto a cuencas sin pavimentar, a fin de evitar la colmatación del sistema debido al arrastre de finos y sedimentos hacia el pavimento, prestando también atención a las zonas con arbolado de hoja caduca.

Al tratarse de un elemento de captación, por lo general, la relación de superficie impermeable/permeable no debería superar 2:1. Es decir, dentro de la subcuenca que se vaya a gestionar, el pavimento permeable debería representar al menos un 33,3 % de la superficie total.

Las capas drenantes del paquete de firme tendrán una conductividad hidráulica mínima de 4.500 mm/h, a la cual se le aplicará un factor reductor de valor 10 para tener en cuenta la colmatación a largo plazo.

El grosor de las capas se dimensionará en función de la carga que vaya a soportar y del volumen de escorrentía que se tenga que gestionar.

En cuanto a la **pendiente transversal** de un pavimento permeable, si se cuenta con infiltración al terreno, ésta puede ser plana y gestionar directamente el agua que recibe de las superficies adyacentes. Si no es posible la infiltración al terreno, la base o subbase del pavimento debe tener una pendiente transversal del 0,5% para facilitar el transporte de la escorrentía. Respecto a la pendiente longitudinal, si esta es mayor al 3%, se recomienda la colocación de terrazas o barreras de flujo, aumentando así el volumen de almacenamiento temporal.

Se puede considerar la infiltración al suelo cuando la permeabilidad del terreno sea menor que 10<sup>-6</sup> m/s, siendo necesaria, en ese caso, la evacuación del agua en menos de 48h.

Respecto a los elementos de evacuación del agua del sistema, si la permeabilidad del suelo no es suficiente puede colocarse un conducto de salida que posibilite la descarga controlada a la red.

Debe colocarse un geotextil debajo de la cama de asiento para evitar que el gravillín u otros sólidos procedentes de escorrentía migren hacia las capas inferiores. Si hay infiltración al terreno, debe colocarse un geotextil de separación entre la capa drenante y el terreno natural.

Si se va a evacuar el agua de forma controlada mediante un conducto, se deberá envolver el sistema con una geomembrana impermeable si existe riesgo de contaminantes en la escorrentía o si se espera un posterior aprovechamiento del agua.

Página 54 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





### Beneficios

- Se trata de un sistema con un alto rendimiento en la reducción de contaminantes presentes en las primeras aguas de escorrentía, pues retiene sedimentos, metales pesados, aceites, hidrocarburos, y algunos nutrientes.
- Retrasan el caudal pico al almacenar temporalmente el agua y reducen el volumen de escorrentía cuando hay infiltración al terreno.
- Hacen más seguro el firme para los vehículos al reducir el estancamiento de agua en la superficie.
- Al evaporarse el agua de la subbase, contribuyen a reducir el efecto urbano "isla de calor".
- Pueden implementarse en línea junto a pavimentos impermeables en proyectos sobre suelo urbano ya consolidado.

### **Limitaciones**

- No se recomienda su construcción en áreas con tránsito vehicular pesado.
- Dado que el riesgo principal de un pavimento permeable es la colmatación de sus huecos, este sistema no debería recoger la escorrentía procedente de zonas vegetadas o sin pavimentar, así como cuencas con alta presencia de finos o arrastres.
- Puede ser necesaria maquinaria muy específica para rehabilitar las superficies una vez se han colmatado.
- Para su correcta construcción se requiere de personal especializado.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 55 de 110





#### 3.4.1.7. Drenes filtrantes

# Descripción general

Los drenes filtrantes son zanjas de poca profundidad que están rellenas con material granular con un tubo dren en su base o dispuestos con cajas reticulares de polipropileno. El objetivo de esta tipología reside en gestionar la cantidad de agua, por lo que sus dos funciones principales son la detención temporal para su posterior laminación a la red y, de forma secundaria, la infiltración al terreno para su gestión en origen.

Reciben la escorrentía de las superficies adyacentes y la filtran a través del material granular o la caja reticular, almacenando temporalmente el agua y, si la permeabilidad lo permite, infiltrándola al terreno. Se denominan drenes filtrantes o zanjas dren porque, aunque tienen la opción de infiltrar el agua al terreno, su función principal es detener temporalmente el flujo de agua y conducirla lentamente a la red o a otro SUDS. Al igual que una cuneta vegetada, un dren filtrante puede servir de nexo de transporte de la escorrentía entre otras tipologías SUDS u otros puntos de drenaje.



Figura 40. Dren filtrante en Madrid-ES.

#### Sección tipo y principales componentes:

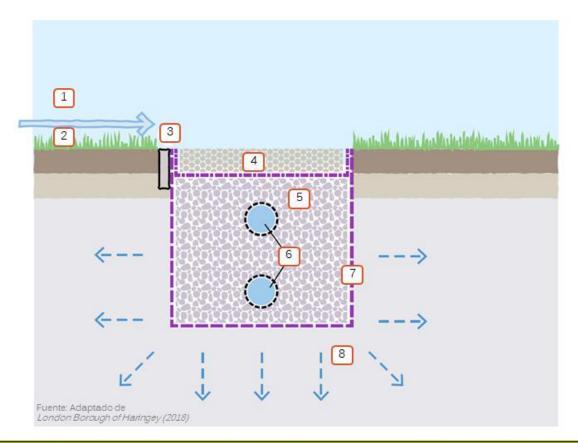
Atendiendo a la Figura 41, la sección constructiva de un dren filtrante, de forma genérica, consta de un relleno de gravas (5) (30% de índice de huecos) o cajas reticulares (90% de índice de huecos) envuelto en un geotextil (7), cuya profundidad suele oscilar entre 1 y 2,50 m. Encima del relleno o de la caja reticular se coloca una capa superficial de gravas (4), también envuelta en un geotextil, cuyo espesor suele rondar los 20 cm. Esta capa superficial permite realizar un mantenimiento más cómodo del sistema ya que, al tener un espesor de poca profundidad y un geotextil debajo, dicha capa superficial se puede retirar con facilidad para limpiar las gravas, evitando además que los finos migren al relleno que se sitúa debajo.

En la base inferior de la capa de relleno, si se trata de material granular, se coloca un tubo dren embebido entre las gravas, el cual se encarga de transportar la escorrentía hacía el punto de descarga. Opcionalmente, se puede colocar otro tubo superior para gestionar el excedente. En el caso de que el relleno no esté formado por gravas, sino por cajas reticulares, éstas no llevan un tubo dren en su interior, sino que los conductos se sitúan en distintos puntos de su perímetro.

En cuanto al perímetro del sistema, opcionalmente se puede colocar un elemento de contención (3) en el lado de captación de la escorrentía. Si bien un dren filtrante no siempre se coloca en contacto con una ladera vegetada, en los casos en los que así sea, la vegetación, además ayudar a frenar la velocidad de entrada de la escorrentía, puede funcionar también, en muchos casos, como sistema de pretratamiento.

Página 56 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Entrada de escorrentía superficial por los laterales;
 Franja vegetada como sistema de pretratamiento;
 Protección de laterales;
 Capa de gravas envuelta en geotextil;
 Capa de gravas gruesas;
 Tubo drer embebido inferior y superior opcional de rebose;
 Geotextil perimetral y/o geomembrana si se requiere impermeabilización;
 Si es posible, infiltración.

Figura 41. Sección tipo de un dren filtrante.

### Comportamiento del agua en un dren filtrante

El agua ingresa al sistema principalmente mediante escorrentía por los dos laterales del dren filtrante o por uno sólo. También recibe el agua de lluvia que le cae encima y, ocasionalmente, mediante entradas puntuales y/o conducciones. Una vez dentro del sistema, el agua se filtra por la capa superficial y deposita los sólidos y un porcentaje de contaminantes, pasando más lavada al material inferior de relleno o a la caja reticular. Se evacúa al exterior del sistema, principalmente mediante el tubo dren, por el tubo superior de rebose (si hay), y por infiltración al terreno, si la permeabilidad del suelo lo permite.

### Criterios de diseño

La **geometría** de los drenes es habitualmente lineal y se instalan de forma paralela a las superficies que drenan. Si la pendiente longitudinal supera el 5 % y/o la base de la zanja es mayor de 2 %, deben construirse barreras transversales que aumenten el volumen de tratamiento y disminuyan la velocidad.

Son una buena opción para conectar distintas técnicas SUDS que estén relativamente cerca entre sí. En cuanto a las **capas**, se dispondrá de forma general una capa de relleno de gravas o cajas reticulares cuya

Guía SUDS T.M. Murcia Página 57 de 110





dimensión dependerá del volumen de escorrentía a gestionar, y una capa superficial que, de forma general, tendrá una profundidad de 20 cm para facilitar el mantenimiento del sistema.

El **conducto** perforado se colocará en la base de la zanja, siendo opcional un segundo para gestionar el rebose. Se puede colocar a lo largo del recorrido de la zanja o en el recorrido final, siendo necesaria la construcción de arquetas de registro intermedias si la longitud del conducto drenante es mayor de 50 m.

#### Beneficios

- Contribuye a la mejora de la calidad de la escorrentía, reduciendo contaminantes mediante su filtración.
- Tienen la capacidad de laminar caudales, pudiendo sustituir a una red de imbornales y colectores, sobre todo en parques.
- Son especialmente útiles en lugares con baja permeabilidad.
- Son relativamente económicas y, al proyectarse con trazados lineales y en paralelo a las superficies que generan la escorrentía, están indicadas para obras lineales como caminos y carreteras.

### Limitaciones

- Al tratarse de un sistema enterrado, pueden no visualizarse posibles fallos en el interior, principalmente por colmatación del material drenante. Por esta razón es de vital importancia la capa superficial y el pretratamiento previo de la escorrentía.
- Requieren inspecciones regulares y no es aconsejable su instalación en contacto con fuertes pendientes por el posible arrastre de sólidos.
- Si se instalan en una zona donde puedan recibir un aporte elevado de sólidos, es necesario considerar un sistema de pretratamiento.
- No son una tipología que potencie la biodiversidad local, presentando una mayor limitación en el contexto paisajístico.

Página 58 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





### 3.4.1.8. Pozos y zanjas de infiltración

## Descripción general



Figura 42. Zanja de infiltración en Ribarroja-ES.

Los pozos y las zanjas de infiltración consisten en excavaciones en el terreno que se rellenan de materiales con un alto porcentaje de huecos, los cuales pueden ser granulares (gravas o similar) o sintéticos (cajas reticulares). Este volumen subsuperficial sirve de almacenamiento temporal previo a la infiltración de las escorrentías. La diferencia entre una zanja o pozo de infiltración y un dren filtrante radica en que la primera tipología está únicamente enfocada en detener temporalmente el agua e infiltrarla posteriormente al terreno, por lo que no considera el transporte. Al instalarse en suelos permeables y siendo su primera función la

de infiltrar, no incluye conductos de drenaje. Atendiendo a su forma pueden clasificarse en:

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

## Sección tipo y principales componentes

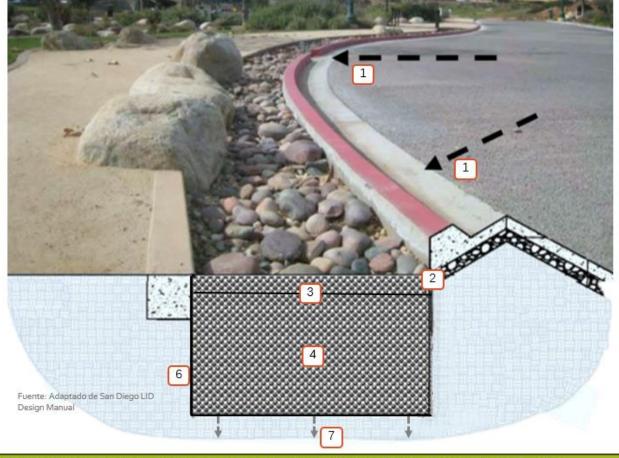
Atendiendo a la Figura 43, la escorrentía generalmente entra al sistema desde las superficies pavimentadas adyacentes, aunque también se puede integrar una franja vegetada que sirva como pretratamiento, ayudando a retener sedimentos y a mejorar la calidad del agua antes de llegar a la zanja o al pozo.

La zanja suele tener un ancho mínimo de 0,30 m, asegurando suficiente espacio para una gestión eficiente de la escorrentía. Se incluye una abertura para inspección visual, facilitando la evaluación del sistema y la identificación de posibles problemas operativos. En la zanja se utiliza una capa superficial de gravas, que puede ser decorativa para mejorar la estética del entorno. A una profundidad de 20-30 cm, se incorpora un geotextil superficial para facilitar las labores de mantenimiento y prevenir la migración de finos a la capa drenante inferior, del mismo modo que para un dren filtrante. En cuanto a la capa principal de la zanja o del pozo, se dispone un material drenante, ya sea con gravas o con cajas reticulares, para contribuir a la infiltración y gestión del agua.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 59 de 110







 Entrada lateral de escorrentía;
 Capa de gravas superficial;
 Geotextil envolviendo la capa superficial de gravas;
 Gravas o material drenante sintético;
 Geotextil perimetral;
 Infiltración a terreno

Figura 43. Esquema de una zanja de infiltración.

## Comportamiento del agua en un pozo o zanja de infiltración

La entrada del agua al interior del sistema sucede por ingreso directo de la lluvia que le cae encima, y por escorrentía superficial proveniente de las superficies adyacentes. Una vez el agua entra en la zanja o el pozo, gran parte de los sólidos y contaminantes que ha arrastrado aguas arriba se quedan atrapados entre la capa superficial y el primer geotextil. El agua migra, entonces, a la capa drenante inferior de gravas o de cajas reticulares y se detiene temporalmente, saliendo del sistema por infiltración al terreno.

#### Criterios de diseño:

En relación con la **configuración geométrica**, la pendiente de las zanjas no excederá el 3%, siendo preferible una inclinación más horizontal. En casos de pendientes mayores, es posible instalar barreras transversales para incrementar la capacidad de almacenamiento.

La profundidad habitual de las zanjas suele ser en torno a 1 m y, por razones constructivas, suelen tener un ancho mínimo de 0,30 m. En cuanto a los pozos, su diámetro varía típicamente entre 1 y 3 m. En términos de

Página 60 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





profundidad, los pozos revestidos pueden alcanzar hasta 4 m, mientras que los no revestidos suelen tener una profundidad de 1 a 2 m.

La entrada controlada de escorrentía es esencial y, en caso de flujos abundantes, se pueden integrar elementos para disipar la energía en los puntos de entrada. En zonas con tráfico y sin protección superficial, los sistemas pueden contar con bordillos discontinuos perimetrales para su resguardo.

En zonas con gran aporte de sedimentos, puede ser necesario un pretratamiento aguas arriba del sistema para evitar su pronta colmatación. En las zanjas, esto se puede conseguir mediante franjas vegetadas, mientras que en los pozos se puede considerar la incorporación de una rejilla para evitar la entrada de elementos gruesos y sedimentos.

El almacenamiento temporal de la escorrentía puede conseguirse con gravas que tengan un índice de huecos del 30% o mediante estructuras de polipropileno con un índice de huecos del 90%.

#### Beneficios

- Contribuyen de manera significativa a la reducción del volumen de escorrentía mediante la infiltración, promoviendo la recarga de acuíferos y el flujo base hacia ríos y humedales.
- Mejoran la calidad del agua al limpiar la escorrentía, principalmente a través de la filtración, y reducen el transporte de contaminantes aguas abajo.
- Son flexibles en el diseño, ofreciendo variedad en formas y tamaños. Las zanjas, por ejemplo, suelen ubicarse junto a elementos lineales como caminos o viales.
- Los pozos, al tener una huella pequeña, son adecuados para su empleo en espacios reducidos.
- Son fáciles de construir y operar.
- Presentan un bajo coste tanto en la construcción como en el mantenimiento.

# Limitaciones:

- Es necesario tratar adecuadamente la escorrentía antes de su infiltración en el terreno para evitar la contaminación de las aguas subterráneas.
- Al tratarse de técnicas subterráneas, resulta más difícil identificar la colmatación del sistema. Por lo tanto, se recomienda introducir una capa superficial de 20 cm independizada del resto de la zanja/pozo.
- No se permite la circulación de tráfico sobre el sistema (a menos que se cuente con un refuerzo), ya que puede compactar el medio filtrante y reducir su permeabilidad.
- La intrusión invasiva de raíces de arbustos o árboles puede reducir el volumen de almacenamiento disponible y causar fallos estructurales.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 61 de 110





### 3.4.1.9. Depósitos reticulares

# Descripción general

Los depósitos reticulares son estructuras subterráneas modulares compuestas por unidades de polipropileno con una alta capacidad de carga y un alto índice de torno al 90 %). Permiten huecos (en almacenamiento de la escorrentía generada por las superficies impermeables adyacentes, para su posterior laminación, reutilización o infiltración, a la vez que presenta una elevada capacidad portante. Se puede visualizar los depósitos reticulares como una optimización de las capas de drenaje con gravas, pudiendo aplicarse en distintas soluciones, tanto a pequeña como a gran escala, y ofreciendo además una capacidad portante elevada.



Figura 44. Depósito reticular en Mas Camarena-ES.

Los depósitos reticulares no proporcionan tratamiento a las escorrentías por sí mismos, por lo que deben ir asociados a estructuras complementarias y de pretratamiento. La entrada de la escorrentía se produce por infiltración desde la superficie, o mediante una tubería.

### Sección tipo y principales componentes

La Figura 45 presenta un esquema de una sección tipo de depósito reticular, incluyendo sus principales componentes.



1. Entrada puntual de escorrentía; 2. Entrada por infiltración 3. Dispositivo de tratamiento (separador hidrodinámico o similar); 4. Estructura de cajas reticulares de polipropileno; 5. Dispositivo de salida de escorrentía; 6. Geotextil envoltorio; 7. Infiltración al terreno (cuando sea posible)

Figura 45. Esquema de un depósito reticular.

Página 62 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





El depósito se compone normalmente de estructuras modulares de polipropileno, que se ensamblan para formar el propio depósito (instalándose en varias filas y capas si fuera necesario) y proporcionan rigidez y resistencia frente a las cargas a las que se verá sometido. Además, el depósito cuenta, generalmente, con una cama de apoyo formada por una capa granular o de arenas, que proporciona estabilidad a la estructura. Asimismo, el relleno de excavación del depósito se suele rellenar con gravas. Por último, tanto el depósito como el material granular, se envuelven con un geotextil (por separado) para proporcionar protección y evitar la entrada de terreno al depósito.

#### Comportamiento del agua en un depósito reticular

La entrada de la escorrentía se produce por infiltración desde la superficie, o mediante una tubería conectada al depósito reticular. Una vez dentro del depósito, el agua va llenando las diferentes estructuras modulares, donde se puede infiltrar al terreno y/o descargarse de manera controlada a un cauce público o red de drenaje pública.

Para contar con infiltración, el terreno debe tener una permeabilidad mayor de 10<sup>-6</sup> m/s y el nivel freático estar, al menos, 1 m por debajo de la base del depósito. La base de excavación debe ser lo más plana posible (tolerancia de la base: 20 mm en 3 m), para asegurar que la escorrentía se distribuye uniformemente por todo el sistema.

#### Criterios de diseño

Es necesario establecer un pretratamiento para evitar la colmatación del sistema debido a la entrada en el sistema de arenas, tierras y otros tipos de sólidos y, asimismo, poder infiltrar el agua al terreno o descargar a un cauce público en condiciones seguras. Dicho pretratamiento debe asegurar que, al menos, los primeros milímetros de lluvia se traten, que son los que generalmente arrastran los sedimentos y/o contaminantes presentes en las superficies impermeables. Este pretratamiento puede realizarse en combinación con otras técnicas SUDS aguas arriba del depósito (como áreas de biorretención o drenes filtrantes), sobre el propio depósito (por ejemplo, pavimentos permeables o a través de algún medio filtrante) o con una tecnología instalada bajo tierra, como separadores hidrodinámicos, cuando la entrada de agua se realice a través de una tubería.

La altura del depósito debe ser diseñada para que en 48 h el sistema se haya vaciado, por infiltración o bien de forma controlada por un elemento de salida para su laminación. Adicionalmente, debe incorporarse un elemento de rebose que permita trasegar los eventos que sobrepasen los eventos de diseño.

Se aconseja evitar diseños que dispongan de una geometría complicada que dificulte la instalación del geotextil y aumente el riesgo de entrada de terreno al depósito. Asimismo, se aconseja incluir pozos de inspección-ventilación para facilitar el mantenimiento de la estructura y permitir, si se requiere, la monitorización de la lámina de agua en el interior del sistema.

Por último, cabe señalar que los proyectos que incluyan depósitos reticulares deberán incorporar un análisis estructural que garantice la capacidad portante de la estructura para las cargas a las que se someterá a lo largo de su vida útil.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 63 de 110





#### Beneficios

- Ayudan a atenuar significativamente los caudales pico.
- Su estructura modular facilita su transporte e instalación, además de su fácil adaptación a las necesidades del lugar.
- Permiten cargas de tráfico rodado y, al estar enterrados, son compatibles con otras instalaciones en superficie.
- Mediante la infiltración, contribuyen a la reducción del volumen de escorrentía.

#### Limitaciones:

- Por sí mismos no disponen de capacidad de tratamiento, por lo que requieren de un elemento de pretratamiento adicional.
- Mayor coste en comparación con el almacenamiento superficial.
- Al tratarse de elementos enterrados, tienen un mantenimiento más complicado y ciertos fallos en el sistema podrían no ser identificados fácilmente.
- No proporcionan beneficios paisajísticos ni para la biodiversidad de la zona donde se instalan.

#### 3.4.1.10. Elementos auxiliares

Además de los distintos tipos de SUDS presentados anteriormente, existen otros elementos auxiliares que ayudan al correcto funcionamiento de éstos.

#### Elementos de entrada de escorrentía

Elementos que permiten la **entrada de escorrentía** a los SUDS y que, además, favorecen la conexión hidráulica entre éstos y las áreas impermeables adyacentes. Entre estos elementos, podemos encontrar bordillos rebajados, bordillos intermitentes, imbornales o canaletas (Figura 46).



Figura 46. Elemento de entrada a un jardín de lluvia en Sevilla. Fuente: EMASESA.

### Elementos de vertido y/o rebose controlado

Elementos como los aliviaderos (Figura 47 a)) o las válvulas vórtice permiten un **vertido y/o rebose controlado** hacia el siguiente elemento de gestión de escorrentía. En aquellos casos en que la salida del agua se produzca a través de una tubería y la limitación de vertido requiera de una conducción demasiado reducida, se optará por el uso de válvulas vórtice (Figura 47 b)) que permitan limitar el caudal pico de salida evitando la posible obstrucción del conducto de salida.

Página 64 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





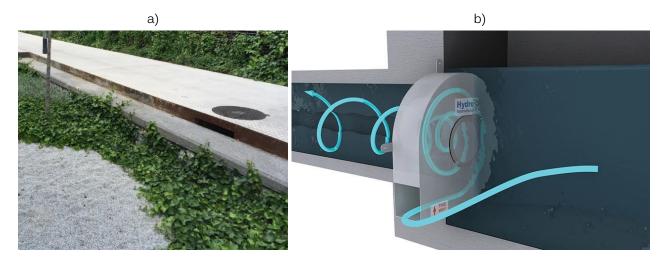


Figura 47. a) Elemento de rebose en el barrio de Bon Pastor de Barcelona-ES; b) Válvula vórtice. Fuente: Hydro International.

# Dispositivos de tratamiento de escorrentía

Los dispositivos de **tratamiento** como los separadores hidrodinámicos (Figura 48) o los filtros compactos contribuyen a la mejora de la calidad de la escorrentía mediante la eliminación de los contaminantes presentes en ella.

En la Tabla 5 se muestra el pretratamiento del agua, que se requeriría previa entrada al sistema, y la procedencia del agua para cada una de las tipologías comentadas en esta guía.

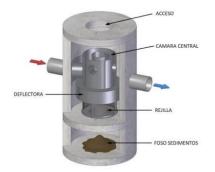


Figura 48. Separador hidrodinámico. Fuente: Hydrostank.

Tabla 5. Pretratamiento anterior a SUDS y procedencia del agua para cada tipología.

Tipología	Pretratamiento anterior a SUDS	Procedencia del agua
Cubiertas vegetadas	No aplica	Ingreso directo
Parterres inundables	No aplica	Escorrentía superficial y/o conducto
Balsas de detención/infiltración	Recomendable depósito de	Escorrentía superficial y/o
	sedimentación	conducto
Cunetas vegetadas	No aplica	Escorrentía superficial
Pavimentos permeables	No aplica	Escorrentía superficial
Drenes filtrantes/Zanjas dren	Recomendable pretratamiento en talud vegetado	Escorrentía superficial
Zanjas o Pozos de infiltración	Recomendable pretratamiento en talud vegetado	Escorrentía superficial
Depósitos reticulares	Tren de SUDS y/o separadores hidrodinámicos	Infiltración y/o conducto
Humedales artificiales	Tren de SUDS y/o separadores hidrodinámicos	Escorrentía superficial y/o conducto

Guía SUDS T.M. Murcia Página 65 de 110





### Dispositivos de monitorización

Los elementos de **monitorización** del sistema permiten cuantificar y obtener resultados sobre el rendimiento de las técnicas SUDS empleadas respecto a la reducción de cantidad de escorrentía y la mejora de la calidad. La Sección 5.3 de esta guía proporciona más información sobre estos dispositivos.

Para finalizar, la Tabla 6 muestra algunos de los elementos auxiliares que se podrían incorporar a cada tipología de SUDS para su correcto funcionamiento.

Tabla 6. Elementos auxiliares para cada tipología.

Tipología	Elementos auxiliares (si necesario)	
Cubiertas vegetadas	1. Rejillas en elementos de rebose.	
Parterres inundables	1. Rejillas en elementos de rebose; 2. Bordillos discontinuos;	
	3. Entradas puntuales.	
Balsas de detención/infiltración	1. Rejillas de detención de sólidos; 2. Disipadores de energía;	
	3. Bordillos discontinuos; 4. Entradas puntuales.	
Cunetas vegetadas	1. Tubo dren si k > 10 <sup>-6</sup> m/s; 2. Contenciones transversales;	
	3. Disipadores de energía.	
Pavimentos permeables	1. Tubo dren si k > 10 <sup>-6</sup> m/s; 2. Aterrazamientos para pendientes > 3 %	
Drenes filtrantes/Zanjas dren	1. Bordillos discontinuos; 2. Entradas puntuales; 3. Disipadores de	
	energía.	
Zanjas o Pozos de infiltración	1. Bordillos discontinuos; 2. Entradas puntuales.	
Depósitos reticulares	1. Rejillas de detención de sólidos; 2. Cámaras de detención y	
	seguimiento.	
Humedales artificiales	1. Rejillas en elementos de rebose; 2. Bordillos discontinuos;	
	3. Entradas puntuales.	

#### 3.4.2. Medidas no estructurales: la importancia de la divulgación

Las medidas no estructurales, a pesar de que no requieren de una intervención constructiva, contribuyen a fomentar y facilitar la implementación del drenaje sostenible en las ciudades, y a un correcto funcionamiento de las medidas estructurales.

### 3.4.2.1. Medidas educativas

Van dirigidas a la población general, y su propósito es exponer la importancia de una adecuada gestión de las escorrentías urbanas y su incidencia dentro de la población. Pueden desarrollarse mediante actividades educativas de especial enfoque hacia alumnos de centros educativos o a través de formación específica de profesionales que estén involucrados en el proceso de diseño y/o construcción.



Figura 49. Cursos de Drenaje Urbano Sostenible enfocado a profesionales.

Página 66 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Figura 50. Panel explicativo sobre el funcionamiento de SUDS.

Adicionalmente, una medida educativa que ayuda a crear un nexo entre la sociedad y los SUDS es el uso de paneles explicativos, de señalización y campañas de divulgación que permitan a la ciudadanía conocer el funcionamiento e importancia de las nuevas alternativas de drenaje. Un ejemplo de una campaña desarrollada en Murcia fue Hechos de Agua, dirigida por EMUASA y cuyo principal objetivo fue difundir información referente a los objetivos de gestión circular y sostenible del agua en la ciudad.

Respecto a este punto, será fundamental que cada proyecto que cuente con la implementación de SUDS incluya un panel informativo instalado junto a él. Esto con el fin



Figura 51. Campaña 'HECHOS de agua' de concienciación ciudadana en Murcia

se dan a conocer estos sistemas.

de generar conciencia y visibilidad de los proyectos, al mismo tiempo que

#### 3.4.2.2. Planificación urbana, política y normativa

Es vital desarrollar un marco legal que permita la implantación de SUDS a gran escala, y esto se logra mediante la creación de estrategias, legislación y normativa, por parte de los ayuntamientos o entes reguladores, que incentiven la implementación de SUDS como solución principal de gestión de pluviales en zonas de regeneración y de nueva creación dentro de las ciudades.

#### 3.4.2.3. Prácticas de mantenimiento y prevención

Realizar tareas de mantenimiento dentro del ámbito de los SUDS es importante para garantizar el correcto funcionamiento y prolongar la vida útil de los elementos que conforman el sistema de drenaje. Algunas de las labores de mantenimiento más comunes incluyen, entre otros, la poda y mantenimiento de la vegetación, descolmatación de estructuras de entrada, barrido y limpieza de superficies, resiembra, etc.



Figura 52. Prácticas de mantenimiento. Fuente: Construction EcoServices.

#### 3.4.2.4. Certificaciones ambientales y de sostenibilidad

Además de los beneficios que presentan los SUDS, en la actualidad existe una variedad de certificaciones ambientales que pretenden concienciar a la sociedad de la importancia de implementar soluciones sostenibles que sean beneficiosas para el medio ambiente y para la comunidad, tanto en proyectos de regeneración urbana como en proyectos de nuevo desarrollo.

Actualmente, existen múltiples sistemas de certificación de construcción sostenible (LEED, BREAM, VERDE, etc.) que incluyen múltiples indicadores relacionados con el concepto de drenaje sostenible. Por un lado, califican positivamente la inclusión de espacios verdes dentro de las soluciones constructivas propuestas. Del mismo modo, valoran la reducción del volumen de escorrentía generada dentro del ámbito e incentivan

Guía SUDS T.M. Murcia Página 67 de 110





la utilización de sistemas de recirculación y aprovechamiento de aguas, cambiando el concepto del agua de residuo a recurso. Todo esto, junto con otros factores, hacen de las certificaciones ambientales y de sostenibilidad una herramienta clave que fomenta el drenaje sostenible y la inclusión de espacios verdes dentro de los desarrollos urbanísticos.

# 3.4.2.5. Transformación tecnológica y Digitalización en el drenaje urbano

El Gobierno de España aprobó en el año 2022 el Proyecto Estratégico para la Recuperación y la Transformación Económica (PERTE), cuyo principal objetivo es fomentar el crecimiento económico, el empleo y la competitividad de la economía española, mediante alianzas y modalidades público-privadas. Dicho plan incluye un total de 12 proyectos estratégicos, los cuales se enmarcan en múltiples unidades temáticas, como el sector agroalimentario, energía, salud y social, entre otros. Dentro de esos proyectos, hay dos planes específicos (el de Economía Circular y el de Digitalización del Agua) que tienen relación directa con el drenaje urbano y, por tanto, se consideran relevantes como una medida que incentive la implementación de SUDS. Respecto al primero de ellos, en la Sección 2.3 de esta guía se ha discutido ampliamente la estrecha relación entre los SUDS y la economía circular.

Por otro lado, se espera que la digitalización del ciclo del agua también cumpla un papel preponderante en la implementación del drenaje sostenible. Dicho plan contempla planes ambiciosos para digitalizar integralmente la gestión del agua en España, incluyendo la formación de técnicos en el área, la creación de bancos de datos de información, el uso eficiente de grandes volúmenes de datos y la ampliación de recursos digitales que ofrezcan imágenes satelitales, recursos SIG (Sistemas de Información Geográfica) y de monitorización de los diferentes sistemas de gestión del agua. Lo anterior incluye los sistemas de saneamiento y los sistemas de gestión de aguas pluviales.

En el ámbito local, cabe destacar que una de las líneas incluidas en el Plan Estratégico de EMUASA supone la transformación tecnológica y digital de la empresa, siendo este uno de los ocho pilares básicos en los que debe apoyarse la gestión de la sociedad para poder abordar los riesgos y oportunidades que se plantean a la organización, así como al propio servicio de abastecimiento de agua potable, saneamiento y depuración de la ciudad de Murcia en el periodo 2020-2030.

Esta transformación tecnológica permitirá la automatización y control de los procesos clave de la organización. En esta línea, las tendencias actuales que incorpora EMUASA se dirigen a abordar la automatización total e integrada de todos los procesos operativos y de gestión mediante la actualización, integración y desarrollo de aplicaciones de inteligencia, aproximando la gestión a la industria 4.0.

Todo ello acorde también con los objetivos específicos identificados por los PERTE:

- Mejora del conocimiento de los usos del agua.
- Aumento en la transparencia en la gestión del uso del agua.
- Cumplimiento de los objetivos ambientales establecidos en la planificación hidrológica.
- Generación de empleo de alta cualificación técnica.

Página 68 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Así, la línea estratégica LE5 del Plan Estratégico de EMUASA prevé integrar todos los sistemas de información para obtener mejoras en la toma de decisiones, abordar un proceso de automatización masivo para maximizar la eficiencia de la organización e incorporar tecnología para generar una experiencia óptima en la relación con los usuarios.

Por otro lado, es bien sabido que la implementación exitosa y a gran escala de los sistemas de SUDS depende en gran medida de herramientas de apoyo a la decisión que estén basadas en herramientas SIG y en modelización numérica del funcionamiento de estas estructuras. En ambos casos, uno de los principales obstáculos para el desarrollo a gran escala de estas herramientas es la falta de disponibilidad de información base que permita la evolución y la validación de los resultados obtenidos.

De este modo, se evidencia la estrecha relación entre el PERTE de digitalización y la adopción de SUDS. Por ello, todo proyecto realizado dentro del término municipal de Murcia deberá facilitar a EMUASA la información digitalizada del sistema de drenaje diseñado, para su incorporación a su base de datos, con los contenidos y formatos que se especifiquen en cada caso.

Asimismo, es importante señalar que la monitorización desempeña una función importante dentro de la implementación de SUDS, ya que permite cuantificar y obtener resultados sobre el rendimiento de las técnicas SUDS empleadas respecto a la reducción de cantidad de escorrentía y la mejora de la calidad. Por tanto, será trascendental proyectar la obra civil que permita albergar la instrumentación para monitorización de SUDS, presentada en la Sección 5.3 de esta guía.

Como conclusión, la disponibilidad de información geográfica, de monitorización y caracterización de sistemas de drenaje de las ciudades se convertirá en un insumo valioso que posibilitará el desarrollo de las herramientas de apoyo a la toma de decisión. Además, dichas herramientas podrán tener un nivel de alcance y difusión mucho mayor, en la medida en que las herramientas digitales que plantea el plan de gobierno posibiliten el conocimiento compartido y extendido.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 69 de 110





# 4. Proceso de Diseño de SUDS

A lo largo de la siguiente sección se establece una metodología por pasos, de cara a proceder con el diseño de SUDS. Estos pasos se dividen en tres grandes apartados:

- Caracterización:
  - o Escala macro.
  - o Escala micro.
- Selección de SUDS.
- Dimensionamiento.

En la Figura 53 se muestra un esquema resumen del proceso de diseño. En los proyectos en los que se prevea la implementación de SUDS se redactará un anejo a la memoria donde se desarrolle justificadamente cada punto de este proceso de diseño. Dicho anejo deberá incluir de manera explícita una justificación de la selección de los tipos de SUDS utilizados.

Página 70 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





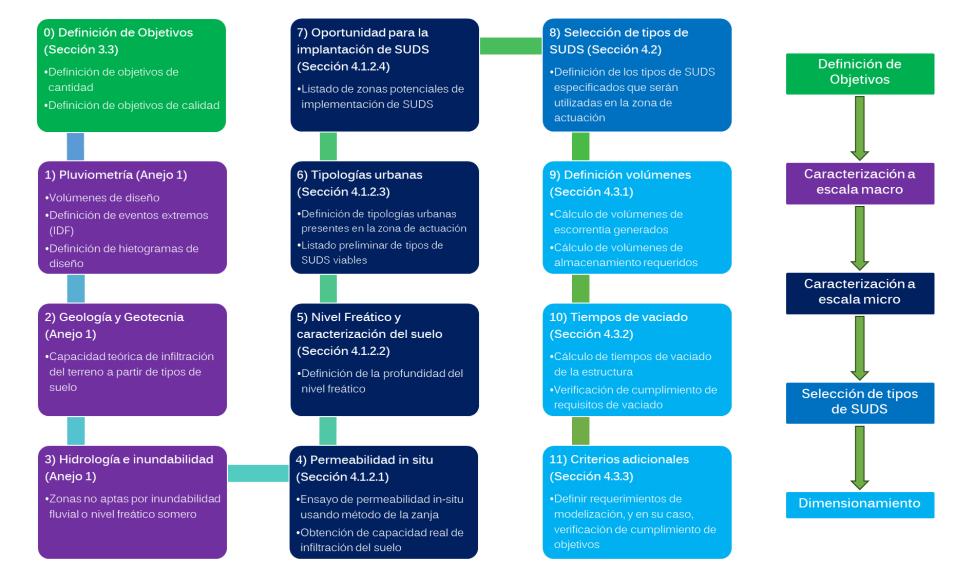


Figura 53. Resumen gráfico del proceso de diseño de SUDS.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 71 de 110





# 4.1. Caracterización

La caracterización de la zona de estudio se diferencia en:

- Escala macro. Hace referencia a las características generales y transversales para todo el término municipal de Murcia, las cuales incluyen el estudio pluviométrico, los tipos de suelo y los aspectos hidrológicos generales.
- Escala micro. En este caso se analizarán las características específicas de la zona de actuación del proyecto e incluirá la determinación de la permeabilidad del terreno in-situ y del nivel freático y la identificación de oportunidades de implementación de SUDS.

#### 4.1.1. Escala macro

En este apartado se ha considerado la información pluviométrica obtenida a partir de datos procedentes de medios externos (Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS), Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), etc.) y la información geológica, hidrológica e hidrogeológica extraída a partir de fuentes cartográficas de ámbito estatal o provincial.

Esta información sirve para definir los percentiles volumétricos (Anejo 1, Tabla 10) a utilizar en el dimensionamiento de los SUDS, así como las curvas IDF (Anejo 1, Tabla 11), además de disponer de una primera identificación de los materiales presentes en el terreno.

Adicionalmente, se han identificado posibles zonas de exclusión para implementación de SUDS por riesgo de inundabilidad fluvial, de acuerdo con los mapas de riesgo de inundación publicados por la CHS.

La información referida en el presente apartado se puede consultar en el Anejo 1.

#### 4.1.2. Escala micro

#### 4.1.2.1. Permeabilidad in situ

Previo a la propuesta de instalación de elementos de infiltración en un proyecto, resulta imprescindible la caracterización de la permeabilidad del suelo existente. Para la determinación de la permeabilidad se recomienda el ensayo de permeabilidad en zanja (Figura 54), estandarizado por BRE Digest 365, 'Soakaway Design' Revised 2016. Para garantizar la estabilidad del nivel freático, se recomienda realizar la prueba al menos pasado 1 mes desde la ocurrencia del último evento de lluvia en la zona.

Figura 54. Ensayo de permeabilidad en zanja en Los Belones, Murcia-ES.

El ensayo consiste en realizar una zanja de dimensiones conocidas: 0,60 m de ancho y 1,50 m de largo. La profundidad de

la zanja dependerá del elemento de infiltración a instalar, si bien, se optará por una profundidad mínima de 1,50 m. Dicha profundidad se podrá modificar dependiendo de la profundidad total del SUDS y en cada caso deberá ser evaluada y seleccionada de manera acorde a cada proyecto. La zanja se llena de agua hasta

Página 72 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





50 cm a contar desde la superficie del terreno. El aporte de agua a la excavación debe ser rápido, pero con cuidado de no provocar el colapso de las paredes de la excavación. Los tiempos se contabilizan a partir del momento de llenado, en intervalos espaciados, de modo que permitan definir la curva de niveles de agua frente a tiempo. De manera orientativa, se sugiere que el tiempo de toma de datos sea cada 30 minutos. Sin embargo, dicho valor dependerá de la capacidad de infiltración del suelo, pues cuanto mayor sea, el intervalo de toma de datos será menor. El ensayo se debe realizar tres veces para cada zanja excavada y como resultado del ensayo se toma el menor de los 3 valores obtenidos.

Para calcular el coeficiente de infiltración del suelo ensayado se considera el tiempo que transcurre desde que el nivel de la lámina del agua está al 75 % de la profundidad inicial hasta que alcanza el 25 % de la misma, mediante la siguiente fórmula:

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

#### Donde:

- V<sub>P75-25</sub> = volumen de almacenamiento entre el 75 % y el 25 % de la profundidad de la excavación, siendo el 100 % el volumen de agua inicial;
- a<sub>P50</sub> = superficie mojada (nivel de la lámina de agua) al 50 % de la profundidad de la excavación, incluyendo el área de la base;
- t<sub>P75-25</sub> = tiempo de vaciado entre el 75 % al 25 % de la profundidad de la excavación rellena de agua.

Se debe aplicar un factor de seguridad a los resultados. Como recomendación, el valor a emplear será igual o superior a 1,50, dando lugar a la ecuación:

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

#### 4.1.2.2. Nivel freático y caracterización del suelo

Junto a la campaña de ensayos de permeabilidad, resulta importante contar con una caracterización del suelo, así como una estimación del nivel freático en la zona. Como criterio general, en ningún caso la distancia entre la base del SUDS y el nivel freático deberá ser inferior a 1 m.

A través de la caracterización del suelo se puede detectar la presencia de rellenos antrópicos (donde no es posible plantear la infiltración), estratos solubles, terrenos contaminados o estratos impermeables en cotas poco profundas que conlleve que los elementos de infiltración deban profundizarse para que puedan desaguar correctamente.

Del mismo modo, la presencia del nivel freático es un factor condicionante para la colocación de elementos de infiltración, ya que puede impedir el desagüe de los mismos y ocasionar problemas de falta de capacidad.

Es por ello que, resulta imprescindible que junto a los ensayos de permeabilidad se realice una serie de ensayos de caracterización de suelo y se proceda a la determinación de la profundidad del nivel freático.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 73 de 110





### 4.1.2.3. Tipología urbana

Otro aspecto clave en el momento de planificar la implementación de SUDS es realizar un análisis detallado de la tipología urbana y de los usos del suelo. Dependiendo de estos dos aspectos, las tipologías SUDS que mejor se adapten a cada caso serán diferentes. En la medida en que se tenga clara una tipificación detallada del ambiente urbano, la selección de las tipologías idóneas va a ser más eficiente, cumpliendo los requisitos que demande cada caso particular.

De acuerdo con el Código de Urbanismo de la Región de Murcia, se establece la siguiente división del suelo municipal, representada en la Figura 55.

#### Para unidades urbanas:

- Urbanización densa.
- Edificación abierta.
- Casas unifamiliares.
- Áreas industriales.
- Centros comerciales y sector terciario.

#### Para unidades urbanas transversales:

- Red viaria.
- Aparcamientos.
- Parques.

La diferenciación de las distintas unidades urbanas es relevante, ya que se deben buscar SUDS que se adapten a las condiciones del emplazamiento. Por ejemplo, la tipología edificatoria afecta a tres aspectos principales para la elección de SUDS:

- La disponibilidad de espacio.
- El tratamiento que debe recibir la escorrentía.
- El objetivo de implementar SUDS.

A partir de estos requisitos, se han realizado una serie de recomendaciones generales respecto a los tipos de SUDS más adecuados para cada tipología urbana y uso del suelo.

Página 74 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia



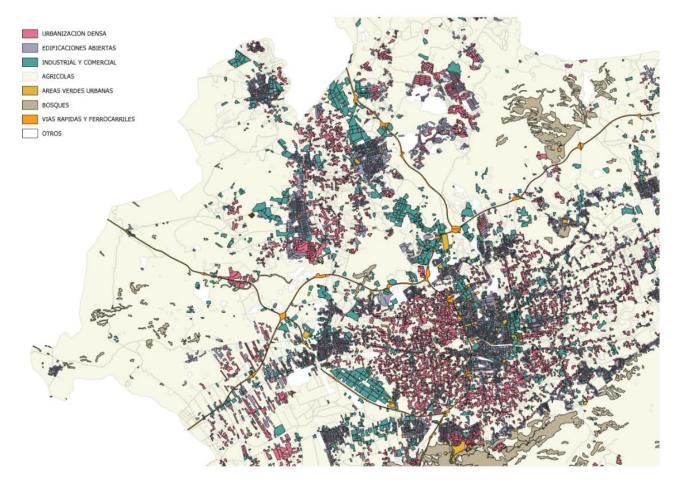


Figura 55. Usos de suelo en el Municipio de Murcia. Fuente: Adaptación Infraestructura de datos espaciales de la Región de Murcia.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 75 de 110





### Urbanización densa

Característica	Objetivo SUDS	Factores Limitantes	SUDS Recomendables
Zonas generalmente céntricas, con carencia de zonas verdes y con una alta superficie edificada.	Reducción de volumen de escorrentía y caudales pico.	Poca disponibilidad de espacio y posible afección a servicios existentes.	Pavimentos permeables. Parterres inundables. Depósitos reticulares.



Figura 56. C. Virgen de la Soledad, Murcia. Fuente: Google Maps.

## Edificación abierta

Característica	Objetivo SUDS	Factores Limitantes	SUDS Recomendables
Zonas de parcelas residenciales bastante amplias que cuentan con zonas verdes.	Reducción del volumen de escorrentía y caudales pico. Aprovechamiento de pluviales para usos no potables.	Uso del suelo.	Pavimentos permeables. Parterres inundables. Cubiertas vegetadas. Depósitos reticulares.



Figura 57. C/ Petra, Murcia. Fuente: Google Maps.

Página 76 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia



### Casas unifamiliares

Areas generalmente ubicadas a las afueras de Reducción del volumen de Parterres inund	Característica	Objetivo SUDS	Factores Limitantes	SUDS Recomendables
las ciudades, con parcelas escorrentía y caudales pico.  independientes  Depósitos reticu	ubicadas a las afueras de las ciudades, con parcelas		Emplazamientos.	Zanjas de infiltración. Parterres inundables. Cubiertas vegetadas. Depósitos reticulares. Pavimentos permeables.



Figura 58. C/S. Isidro Churra, Murcia. Fuente: Google Maps.

## Áreas industriales

Característica	Objetivo SUDS	Factores Limitantes	SUDS Recomendables
Áreas con grandes espacios abiertos, con naves industriales, aparcamientos y vías grandes.	Reducción de caudales pico y tratamiento de la escorrentía.	Las cargas de servicio (por tráfico pesado) que se transmiten al suelo son altas.	Zanjas de infiltración. Parterres inundables. Zonas de biorretención. Cunetas vegetadas. Depósitos reticulares.



Figura 59. Polígono industrial Cabezo Cortao, Murcia. Fuente: Google Maps.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 77 de 110





## Centros comerciales y sector terciario

Característica	Objetivo SUDS	Factores Limitantes	SUDS Recomendables
Superficies grandes ubicadas a las afueras de las ciudades, constituidas generalmente por grandes edificios comerciales que disponen de amplias superficies de cubiertas y de aparcamientos.	Aprovechamiento de pluviales para usos no potables.	Espacios de alto tránsito vehicular y peatonal.	Cubiertas vegetadas Parterres inundables. Zonas de biorretención. Depósitos reticulares. Pavimentos Permeables.



Figura 60. Centro Comercial Thader, Av. Juan de Borbón, 30110 Churra, Murcia. Fuente: Google Maps.

## Red viaria

Característica	Objetivo SUDS	Factores Limitantes	SUDS Recomendables
Superficies altamente impermeables tanto en aceras como en la vía.	Reducción de caudales pico y tratamiento de la escorrentía.	Espacios limitados por el servicio vial.	Parterres inundables. Zonas de biorretención. Jardines de lluvia. Balsas de detención e infiltración.



Figura 61. Av. de la Fama, Murcia. Fuente: Google Maps.

Página 78 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia



## **Aparcamientos**

Característica	Objetivo SUDS	Factores Limitantes	SUDS Recomendables
Superficies al aire libre, generalmente para brindar aparcamientos a zonas comerciales.	Reducción de caudales pico y tratamiento de la escorrentía.	Al implantar los SUDS, no se debe reducir su capacidad de servicio.	Parterres inundables. Pavimento permeable. Zanjas de infiltración. Cunetas vegetadas.



Figura 62. Aparcamiento en el Estadio Nueva Condomina, Murcia. Fuente: Google Maps.

## **Parques**

Característica	Objetivo SUDS	Factores Limitantes	SUDS Recomendables
Zonas verdes, plazas, parques infantiles, normalmente son zonas permeables.	Disminución de caudales pico y volúmenes de escorrentía (incluso de zonas adyacentes).	Al implantar los SUDS, no se debe alterar la funcionalidad de servicio.	Balsas de detención e infiltración. Parterres inundables. Pavimento permeable. Humedales artificiales. Cunetas vegetadas.



Figura 63. Jardín del Salitre, Murcia. Fuente: Google Maps.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 79 de 110





### 4.1.2.4. Oportunidad para la implantación de SUDS

Otro punto a considerar durante la implantación de SUDS es la caracterización de la zona donde se propone realizar la actuación, diferenciando entre proyectos de regeneración urbana y proyectos de nueva urbanización.

Para proyectos de regeneración urbana es muy importante adecuar el SUDS a la zona circundante, determinar el origen del problema (cantidad o calidad de escorrentía) y considerar el tipo de red de drenaje existente. Con una finalidad meramente orientativa, los SUDS sugeridos que se pueden implementar dentro de una urbanización consolidada son:

- Cubiertas vegetadas (sobre edificios existentes).
- Pavimentos permeables (sobre la red viaria o en plazas de aparcamiento).
- Parterres inundables (sustituyendo a parterres existentes).
- Estanques y lagunas (en parques y espacio públicos).

En cada proyecto de regeneración urbana se optará por hacer un análisis detallado de las áreas de oportunidad y los requisitos mínimos de implementación de SUDS, garantizando que se aproveche al máximo las oportunidades y que se cumpla con los requisitos y demandas de cada caso particular y las expuestas hasta el momento en esta guía.

Por otro lado, en <u>proyectos de nueva urbanización</u>, el objetivo a considerar debe ser el mantenimiento del ciclo hidrológico natural. Dado que son proyectos sin grandes limitaciones de espacio, es posible adoptar un conjunto de medidas con <u>trenes de SUDS</u> si se incorporan desde las primeras etapas del proyecto, favoreciendo el tratamiento de la escorrentía.

En este sentido, se sugiere mantener las líneas de flujo y los puntos bajos de la zona de actuación, dotándolos de SUDS que se mimeticen con el medio y realicen las mismas funciones hidrológicas que se producen previo al desarrollo urbanístico. Un ejemplo, puede ser la utilización de cunetas vegetadas o drenes filtrantes en las zonas donde se producen las líneas de flujo preferente previo al desarrollo y el almacenamiento-infiltración de la escorrentía en depósitos de retención previo al vertido a la red separativa. Como última opción, en caso de que las anteriores opciones no sean posibles, se podrá valorar el vertido a la red unitaria, siempre que se cumplan los parámetros de calidad que estipula la normativa vigente.

En cualquier caso, será fundamental que los proyectos realicen estudios y análisis hidrológicos/hidráulicos que permitan identificar los volúmenes y caudales pre-desarrollo, con el fin de garantizar que se está cumpliendo con estos requisitos mínimos recomendados.

Página 80 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





### 4.2. Selección de SUDS

El diseño de los SUDS debe enfocarse desde una perspectiva poliédrica y holística, no solo centrada en la gestión de las lluvias, sino que también busque obtener beneficios al margen de la ganancia hidrológica, tal y como se describe en la <u>Sección 0</u>.

A partir de las características particulares de cada caso de estudio y de los objetivos presentados en la Sección 3.3, se definirá la tipología de SUDS más adecuada a cada proyecto.

En orden de prioridad, se debe promover el posible aprovechamiento de pluviales para usos no potables, que siempre primará a la hora de definir la estrategia de drenaje y los SUDS a seleccionar. En segundo lugar, se deberán priorizar los sistemas SUDS que permitan la infiltración al terreno, lo cual reducirá los caudales y volúmenes que alcanzan el medio natural (barranco/arroyo/río) o la red de colectores (contribuyendo a un mejor funcionamiento del sistema de drenaje existente). La permeabilidad del suelo y la altura del nivel freático son los dos principales factores que condicionan la posibilidad de infiltración; por lo que cualquier estrategia de drenaje con infiltración seguirá las recomendaciones descritas en las Secciones 4.1.2.1 y 4.1.2.2 de esta misma guía. Tanto el aprovechamiento de pluviales como la infiltración al terreno ayudarán al objetivo de reducción de volúmenes de escorrentía.

En caso de que la infiltración no fuese posible, la siguiente opción debe ser la conducción y transporte de la escorrentía al cauce público más cercano, de manera controlada y con la calidad del agua adecuada. En este sentido se deberá garantizar que los caudales vertidos no excedan los caudales previos a la urbanización y se deberá contar con la aprobación del órgano pertinente para la descarga. Dicho trámite deberá estar en concordancia con los criterios expuestos en el Anexo XI de la actualización 2023 al Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 665/2023), el cual establece los criterios técnicos básicos para la tramitación de las autorizaciones de los vertidos por desbordamientos del sistema de saneamiento en episodios de lluvia.

Por último, en caso de que no existiese un cauce público en las cercanías de la zona de actuación, se procederá a la descarga controlada a la red de pluviales pública y, si ésta no existe, a la red unitaria pública, bajo la aprobación y condicionamiento de la entidad responsable.

Todas las opciones descritas deberán cumplir de igual modo los criterios de control de calidad descritos en la <u>Sección 3.3.2</u>. Para ello, se comprobarán los índices de contaminación, en función de la zona de actuación y los índices de mitigación, en función de los tipos de SUDS empleados.

En orden de prioridad, en aquellas opciones que no satisfagan los índices de mitigación, se emplearán trenes de SUDS, que permitan concatenar varios elementos hasta obtener la calidad y cantidad adecuada. En segundo lugar, se promoverá la utilización de dispositivos auxiliares (separadores hidrodinámicos o filtros compactos) para el tratamiento de la escorrentía. En último lugar, y solo si no es posible realizar el tratamiento de la escorrentía mediante alguna de las propuestas aquí descritas, se procederá a la conexión a la red unitaria y se llevará a cabo el tratamiento en la EDAR de manera convencional.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 81 de 110





### 4.3. Cálculos de dimensionamiento

Una vez caracterizada la zona de actuación (Sección 4.1), establecidos los objetivos (Sección 3.3) y seleccionados los SUDS en el proceso de diseño (Sección 4.2), se iniciará el dimensionamiento de los elementos SUDS, dando seguimiento a los pasos a continuación descritos.

No obstante, cabe señalar que para todos aquellos proyectos que sean desarrollados en nuevas urbanizaciones, o en zonas consolidadas cuya cuenca aportante sea mayor a 2 hectáreas, la metodología presentada, a continuación, únicamente servirá como un predimensionamiento de los SUDS, ya que los SUDS deberán incorporar, además, un volumen de almacenamiento suficiente para limitar los caudales de escorrentía vertidos fuera del ámbito de actuación, y se exigirá que se desarrolle un modelo hidrológico/hidráulico para garantizar el cumplimiento de este requisito (Sección 3.3.1.2).

#### 4.3.1. Definición de volúmenes

#### 4.3.1.1. Volumen de escorrentía generado

En primer lugar, se determina el **volumen de escorrentía** generado por las cuencas vertientes, mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$V_e = \frac{V_X}{1000} * A_{IMP}$$

siendo,

- $V_e$ , Volumen de escorrentía  $(m^3)$ .
- $V_X$ , percentil volumétrico (mm). Presentados en Anejo 1, Tabla 10.
- $A_{IMP}$ , área impermeable  $(m^2)$ .

#### 4.3.1.2. Volumen de almacenamiento

Como segundo paso, se calcula el volumen de almacenamiento en los SUDS, con el uso de la siguiente expresión:

$$V_{SUDS} = \sum_{i=1}^{n} A_i * h_i * n_i$$

siendo,

- $A_i$ , área de SUDS  $(m^2)$ .
- $h_i$ , altura de capa SUDS (m).
- $n_i$ , porosidad (adimensional), cuando para un material en concreto no se dispone del valor de porosidad, se pueden considerar los siguientes valores teóricos para posteriores cálculos.
  - o n = 1 cuando no existe relleno (almacenamiento superficial)
  - o n = 0,3 para gravas
  - o n = 0,9 para celdas y cajas reticulares

Página 82 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





Es conveniente realizar una comprobación para determinar que  $V_{SUDS}$  dispone de una capacidad suficiente para lograr almacenar el volumen generado para el  $V_X$  seleccionado.

$$V_{SUDS} > V_X$$

En el caso de que esta condición no se cumpla, habrá que realizar cambios en la geometría del SUDS a implementar.

#### 4.3.2. Tiempo de vaciado

Como norma general, se debe asegurar que los SUDS se vacíen, hasta la mitad de su capacidad en 24 horas para así asegurar la gestión de un potencial segundo evento de lluvia consecutivo. Además, el vaciado completo de los SUDS no debería exceder las 48 horas para evitar la proliferación de malos olores y/o mosquitos.

Cuando las condiciones del terreno son aptas y se ha optado por SUDS que conlleven **procesos de infiltración**, el tiempo de semi vaciado suponiendo infiltración por la base y los laterales del elemento puede calcularse utilizando la siguiente expresión proporcionada en *The SUDS Manual*:

$$t_{sv} = \frac{n * A_b}{k * P} * log_e \left( \frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right)$$

siendo,

- $t_{sv}$ , tiempo de semivaciado (horas).
- n, porosidad.
- $A_b$ , área de la base  $(m^2)$ .
- k, coeficiente de permeabilidad  $\binom{m}{h}$ .
- P, perímetro de la base (m).
- $h_{max}$ , altura máxima de columna de agua desde la base de la infiltración (m).

Para la comprobación del vaciado completo de los SUDS de infiltración, se puede utilizar la siguiente fórmula simplificada, adaptada de The SuDS Manual, donde únicamente se considera la infiltración por la base.

$$t_v = \frac{n * h_{max}}{k}$$

Donde.

- $t_v$ , tiempo de vaciado (horas).
- n, porosidad.
- k, coeficiente de permeabilidad  $\binom{m}{h}$ .

En el escenario en el que no sea posible la infiltración al terreno y se opte por realizar **descargas** a la red de saneamiento o a una masa de agua, el tiempo de vaciado se calcula con la ecuación a continuación descrita:

Guía SUDS T.M. Murcia Página 83 de 110





$$t_{v=} \sqrt{\frac{2h}{9.81} \left(\frac{{A_s}^2}{(A_o * C_d)^2}\right) - 1}$$

siendo.

- $t_v$ , tiempo de vaciado (horas).
- $A_o$ , área de la sección transversal interna del orificio  $(m^2)$ .
- $A_s$ , área en planta de la toma de almacenamiento de SUDS  $(m^2)$ .
- $C_d$ , coeficiente de descarga (m). Un valor recomendado es 0,6, según sugerencia de diferentes manuales y softwares de hidráulica, para orificios con bordes en ángulo recto. El coeficiente puede aumentarse hasta 0.95 si el orificio dispone de bordes redondeados.
- h, distancia desde la superficie de la lámina de agua hasta el centro del orificio (m).

#### 4.3.3. Criterios adicionales

Como se ha mencionado anteriormente, para todos aquellos proyectos que sean desarrollados en nuevas urbanizaciones o en zonas consolidadas cuya cuenca aportante sea mayor a 2 hectáreas (Sección 3.3.1), se tendrá que desarrollar un modelo hidrológico/hidráulico, utilizando EPA SWMM o un software similar. Para la modelización del sistema propuesto se usarán las curvas IDF proporcionadas en el **Anejo 1** de esta guía, con las que se construirán hietogramas rectangulares para diferentes intensidades y duraciones medias máximas. A su vez, se modelará el sistema usando la pluviometría de un año tipo, con el fin de comprobar que el porcentaje de lluvia gestionada corresponda al percentil volumétrico presentado.

Respecto a los materiales para la construcción, se optará por que la arena que se emplee para el medio filtrante cuente con permeabilidades entre 100 y 300 mm/h. Adicionalmente, el geotextil empleado deberá actuar como filtro, para lo cual deberá contar con las características apropiadas, de modo que impida su colmatación o rotura. A manera orientativa, a continuación, se incluyen las características esenciales sugeridas para el geotextil:

- Punzonado estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 2 KN
- Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 100 115 μm
- Permeabilidad vertical (según UNE-EN ISO 11058) de 100 130 mm/s

La cama de asiento de las tuberías se realizará mediante tierras arenosas, arena de río lavada o gravilla procedente preferentemente de áridos naturales, o bien del machaqueo y trituración de piedras de canteras o gravas naturales. El tamaño de la gravilla estará comprendido entre 5 y 25 mm y el coeficiente de desgaste, medido por el ensayo de Los Ángeles según norma NLT 149/72, será inferior a 40.

Página 84 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





## 4.4. Principales referencias en materia de diseño

#### 4.4.1. Nacionales

Ajuntament de València (2021). Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València. Enlace.

Ayuntamiento de Castelló de la Plana (2019). Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana. <u>Enlace</u>.

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.

Ayuntamiento de Azuqueca de Henares (2023). Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para el término municipal de Azuqueca de Henares. Enlace.

Ajuntament de Barcelona. (2020). Guia tècnica per al disseny de Sistemes de Drenatge Urbà Sostenible SUDS. Enlace.

NILSA (2023). Recomendaciones básicas. Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en Navarra. Enlace.

MITECO (2019). Guías de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Enlace.

#### 4.4.2. Internacionales

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. <u>Enlace</u>.

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.

Faha, L., Faha, M., & Milligan, B. (2021). Low Impact Development Approaches (LIDA) Handbook. Hillsboro: Clean Water Services. 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.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 85 de 110





San Francisco Public Utilities Comission (2009). San Francisco Stormwater Design Guidelines. 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. <u>Enlace</u>.

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

Young, S., Imai, J., & Laurence, J. (2016). C.3 Stormwater A handbook for developers, builders and project applicants. California: Clean Water Program.

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.

Página 86 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





## 5. Mantenimiento y monitorización

El mantenimiento y la monitorización constituyen una parte fundamental de la implementación adecuada de SUDS. Por ello, se sugiere que desde el planteamiento del proyecto se cuente con una delimitación clara de las actividades de mantenimiento que deberán ser desarrolladas, tanto las labores preventivas como correctivas. Asimismo, y dependiendo de la naturaleza del proyecto, se podrá valorar la instrumentación y, consecuentemente, la monitorización de la cantidad y la cantidad de la escorrentía de entrada y salida de los SUDS. Este último punto cobrará especial relevancia cuando se desee tener mediciones precisas del funcionamiento de los SUDS, a fin de generar certificaciones y/o permisos.

## 5.1. La importancia del mantenimiento desde el diseño

Para asegurar la eficiencia en la operación de los SUDS y minimizar los costes en reparaciones, es imprescindible disponer de una política activa de mantenimiento que esté enfocada en revisar con frecuencia las infraestructuras y permita identificar problemas de manera preventiva. El correcto discernimiento de las tareas de mantenimiento debe establecerse en función de las necesidades que presenta cada elemento y, en múltiples casos, considerando la climatología.

En ocasiones, el mantenimiento de los SUDS se realiza por diferentes responsables administrativas, lo que precisa de una buena coordinación entre todos los entes para asegurar una correcta aplicación de las tareas de mantenimiento. De esta premisa nace la necesidad de crear planes de mantenimiento desde fases tempranas del diseño y que estén correctamente articulados con los diferentes actores. Será responsabilidad del proyectista diseñar arquetas u otros elementos que delimiten responsabilidades y el mantenimiento del elemento límite será responsabilidad del mantenedor de la infraestructura ubicada justo aguas arriba.



Figura 64. Colmatación de pavimento impermeable como consecuencia de un diseño inadecuado.

### 5.2. Principales tareas de mantenimiento por tipos de SUDS

El mantenimiento de los SUDS es uno de los temas clave a la hora de asegurar su buen funcionamiento a lo largo de toda su vida útil. Es importante establecer un programa de mantenimiento que incluya, entre otras:

- Comprobaciones visuales para asegurarse de que los SUDS funcionan correctamente.
- Cuidado y limpieza de rutina para prevenir y resolver cualquier tipo de problema que pueda surgir.
- Registros de mantenimiento para realizar un seguimiento de las observaciones y actividades realizadas.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 87 de 110





En la Tabla 7 se detalla a modo de resumen las principales actividades a realizar según la tipología SUDS, incluyendo la frecuencia de ejecución de las tareas de mantenimiento. Las actividades están divididas entre mantenimiento preventivo, correctivo y de adecuación. Cabe señalar que, las actividades planteadas en este listado deben entenderse como una guía meramente indicativa. Asimismo, en cada proyecto que involucre SUDS será fundamental reevaluar las actividades, incluyendo como requerimientos mínimos los presentados en la Tabla 7, los cuales serán reevaluados y definidos de manera específica para cada caso de estudio.

Página 88 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia



Tabla 7. Actividades de mantenimiento y frecuencia de ejecución.

TIPO DE SUDS	MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
		1. Mantenimiento general de las plantaciones, incluyendo poda y recogida de los desechos generados (ramas, hojas, etc.).	Trimestral.
		2. Eliminación de vegetación no deseada.	Trimestral.
		3. Revisión de bajantes.	Trimestral.
CUBIERTAS	PREVENTIVO	4. Inspección general tras grandes eventos de lluvia en busca de daños estructurales, goteras, obstrucción de bajantes, etc.	A demanda.
VEGETADAS		5. Riego (especialmente los 2 primeros años por arraigo de plantaciones) para mantener una adecuada densidad de vegetación.	A demanda.
		6. Verificación de evacuación de escorrentía en menos de 24 horas.	A demanda o tras un evento de lluvia representativo.
	CORRECTIVO	1. Resiembra, cobertura de huecos despoblados y sustitución de marras.	Anual.
	ADECUACIÓN	1. Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	A demanda.
	PREVENTIVO	1. Mantenimiento general de las plantaciones, incluyendo poda y recogida de los desechos generados (ramas, hojas, etc.).	Mensual.
		2. Eliminación de vegetación no deseada.	Semestral.
		3. Retirada de sedimentos acumulados en las entradas de agua.	Mensual.
		4. Riego (especialmente los 2 primeros años por arraigo de plantaciones) para mantener una adecuada densidad de vegetación, en función de las especies.	A demanda.
PARTERRES INUNDABLES		5. Ensayo de permeabilidad para comprobar el nivel de colmatación del medio filtrante (también cuando se den encharcamientos prolongados). Medidas correctivas, en su caso.	Bienal.
		1. Resiembra, cobertura de huecos despoblados.	Anual.
	CORRECTIVO	2. Inspección general tras grandes eventos de lluvia en busca de daños estructurales (necesidad de escarificación o reemplazo de primeros 20 cm) y zonas erosionadas.	A demanda.
	ADECUACIÓN	1. Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	A demanda.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 89 de 110





TIPO DE SUDS	MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
		Retirada de sedimentos.	A demanda (en función de los eventos
		1. Netirada de Sedimentos.	de lluvias acontecidos).
		2. Control de focos de infección, tareas de desinsectación y desratización.	A demanda.
		3. Poda y retirada de vegetación no deseada.	Mensual.
	PREVENTIVO	4. Inspección de los elementos de entrada y salida y el aliviadero en búsqueda	Mensual.
	TILLVEINITVO	de obstrucciones por exceso de sedimentos y, en su caso, limpieza.	Werisda.
		5. Inspección de taludes y, en su caso, reparación de zonas erosionadas.	Mensual.
BALSAS DE		6. Mediciones topográficas en diques para determinar asentamientos	A demanda (en función de los eventos
DETENCIÓN E		diferenciales o corrimientos producidos a consecuencia del arrastre de lluvias.	de lluvias acontecidos).
INFILTRACIÓN		7. Riego de plantaciones perimetrales.	Semanal en época de verano.
THE TENDENCE OF	CORRECTIVO	1. Comprobación de producción de asentamientos y, en su caso, aplicar medidas correctivas.	Anual.
		2. Revegetar los taludes, reparar el elemento de disipación y reparar los elementos adicionales (como mobiliario urbano, vallas, etc.).	Anual.
		3. Limpieza de imbornales y canaletas, retirada de piedras y vegetación arrastrada por las lluvias.	Anual.
	ADECUACIÓN	1. Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	A demanda.
		2. Nivelar la base de la balsa y reinstalar los niveles establecidos en el diseño.	Anual/a demanda.
		1. Mantenimiento de la vegetación (riego, poda, etc.) y de la altura de diseño, 10-15 cm.	Mensual durante la época de crecimiento, después a demanda.
		2. Inspección y retirada de residuos en entradas de agua y elementos de rebose.	Mensual.
CUNETAS	PREVENTIVO	Identificación y eliminación de encharcamientos, zonas compactadas o erosionadas.	Mensual.
VEGETADAS		4. Limpieza general de la superficie de la cuneta (desechos, etc.).	Mensual.
		Repoblación y sustitución de marras para cobertura completa de vegetación.	Anual.
	CORRECTIVO	2. Reperfilar y nivelar las irregularidades de la superficie y restaurar la topografía de diseño.	Anual/a demanda.
	ADECUACIÓN	1. Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	A demanda.

Página 90 de 110





TIPO DE SUDS	MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
PAVIMENTOS	PREVENTIVO	1. Barrido en seco y aspiración. Retirada de hojas, sedimentos y limpieza general de la superficie del pavimento.	Semestral.
	CORRECTIVO	1. Reparación de grietas u otros desperfectos superficiales que comprometan la seguridad de paso sobre el pavimento.	A demanda.
PERMEABLES	CORRECTIVO	2. Rehabilitación de la capa superficial y subbase, succión de sedimentos para resolver problemas de colmatación.	Decenal.
	ADECUACIÓN	1. Rehabilitación/reparación de estructuras.	A demanda.
		Retirada de sedimentos acumulados en las entradas de agua.	Mensual.
DRENES FILTRANTES	PREVENTIVO	2. Verificación de evacuación de escorrentía en menos de 48 horas.	Anual / a demanda (en función de los
			eventos de lluvias acontecidos).
TILINANIES	CORRECTIVO	1. Reemplazo de grava cuando hay alguna obstrucción.	Semestral/a demanda.
	ADECUACIÓN	1. Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	A demanda.
		1. Eliminación de contaminantes visibles a la entrada del sistema.	Semi-anual (al inicio y fin del invierno).
		2. Inspección y reparación de la superficie de la zona de infiltración.	Semestral / a demanda (en función de
		Comprobación de vaciado de subbase en menos de 48 horas.	los eventos de lluvias acontecidos).
POZOS Y	PREVENTIVO	3. Inspección de elementos de pretratamiento o SUDS de apoyo.	Semestral / a demanda (en función de
ZANJAS DE		Establecimiento de frecuencia necesaria de eliminación de sedimentos.	los eventos de lluvias acontecidos).
INFILTRACIÓN		4. Inspección del geotextil y del área de infiltración con objeto de detectar zonas colmatadas.	Decenal.
	CORRECTIVO	1. Reemplazo de grava cuando hay alguna obstrucción.	Semestral / a demanda.
	ADECUACIÓN	1. Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	A demanda.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 91 de 110





TIPO DE SUDS	MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
		1. Eliminación de desechos y residuos que puedan colmatar u obstruir los elementos del sistema.	Mensual.
		2. Siega de la hierba para conservar la altura dentro del rango de diseño especificado.	Mensual.
	PREVENTIVO	3. Eliminación de malas hierbas.	Mensual.
DEPÓSITOS RETICULARES		4. Comprobación de vaciado del depósito 48 horas después de la última lluvia.	Semestral / a demanda (en función de los eventos de lluvias acontecidos).
		5. Inspección ordinaria de todos los elementos (entrada, salida, rebose, etc.) para verificar que están operando en buenas condiciones.	Anual.
	CORRECTIVO	1. Inspeccionar el interior del depósito en busca de acumulación de sedimentos, y en su caso, eliminarlos.	Quinquenal / a demanda.
	ADECUACIÓN	1. Reposición de posibles elementos dañados.	A demanda.
		1. Eliminación de vegetación no deseada, retirada de desechos, restos vegetales y flotantes.	Mensual.
	DDE VENITING	2. Retirada de sedimentos acumulados en entradas de agua y elementos de rebose para evitar obstrucciones y desbordamientos.	Mensual durante el primer año, después semestral.
ESTANQUES Y	PREVENTIVO -	3. Cuidado de plantas acuáticas y vegetación de márgenes y eliminación de desechos.	Anual.
HUMEDALES ARTIFICIALES		4. Análisis de la calidad de la lámina de agua permanente.	Mensual o tras un evento de lluvia representativo.
		1. Corrección del fondo y laterales de la balsa por erosión.	Semi-anual (al inicio y fin del invierno).
	CORRECTIVO	2. Aireación en caso de eutrofización.	Trienal/a demanda.
	COMILCTIVO	3. Eliminación de sedimentos del fondo si el volumen del humedal se reduce más de un 20%. Reposición de la vegetación.	A demanda.
	ADECUACIÓN	1. Reposición de posibles elementos dañados.	A demanda.

Página 92 de 110





### 5.3. Monitorización y seguimiento

Con el propósito de recopilar información referente al funcionamiento de los SUDS, será fundamental incorporar un correcto plan de monitorización. Dicho plan deberá consistir en un plan de instrumentación, de recopilación de información, de análisis de muestras y de la información.

El objetivo principal de estos planes será evaluar cuantitativamente el correcto funcionamiento de los SUDS, tanto en lo que respecta a la calidad como a la cantidad del agua. Esto permitirá establecer parámetros sobre la adecuación de los sistemas implementados. A su vez, un buen plan de monitorización y seguimiento permitirá tomar decisiones informadas relativas al desempeño de las diferentes estructuras.

Dichos planes serán revisados y planteados, caso a caso, según instrucciones recibidas por EMUASA, entidad encargada de hacer el seguimiento del plan en las infraestructuras de su competencia. Para ello, los equipos de monitorización empleados deberán ser compatibles y estar integrados y comunicados con el SCADA.

La monitorización será de obligatorio cumplimiento en todos aquellos casos en los que el vertido se realice al Dominio Público Hidráulico. Adicionalmente, adquirirá especial relevancia en casos en que la calidad y cantidad del agua (y su transformación) sean un aspecto clave dentro de la configuración de SUDS propuesta. En cambio, no se considerará necesario un esquema de monitorización en actuaciones de pequeña escala o en casos en que la calidad del agua no represente un aspecto sensible o un objetivo primordial aguas abajo de la solución propuesta. No obstante, como se señala anteriormente en la Sección 3.4.2.5 de esta guía, la monitorización desempeña una función fundamental dentro de la implementación de SUDS, por tanto, será trascendental proyectar la obra civil que permita albergar la instrumentación para la monitorización de SUDS que se presenta en los siguientes apartados, aun cuando los proyectos no planteen llevar a cabo la monitorización desde un inicio.

### 5.3.1. Instrumentación y equipos de medición

La fase previa de la monitorización deberá incluir un plan de los equipos y la instrumentación necesaria para recopilar los datos deseados. La primera etapa consistirá en asegurar que la instalación de los SUDS dispone de todos los aspectos técnicos y constructivos necesarios para instalar los equipos. Así, se deberá garantizar, como mínimo, que se cuenta con arquetas de monitorización que desvíen el flujo del agua y permitan instalar los equipos de medición de manera segura y precis; al menos, con una arqueta a la entrada y una a la salida de los SUDS, a fin de tener suficientes datos para evaluar el efecto real de las estructuras. Adicionalmente, se deberá garantizar la acometida de los servicios necesarios para el funcionamiento de los equipos (electricidad, batería, etc.), así como con el espacio físico suficiente.

Respecto a los equipos necesarios, estos se pueden dividir en los de medición de calidad y de cantidad del agua y los de medición de parámetros meteorológicos. Respecto a la cantidad del agua, usualmente se deberá contar con sondas de nivel, de presión hidrostáticas o ultrasónicas, que permitan cuantificar de manera precisa los caudales y volúmenes de entrada y salida de los SUDS.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 93 de 110





Por otro lado, los equipos de medición de la calidad del agua incluirán los de medición puntual y continua. Los primeros consistirán en tomamuestras automáticos (Figura 65) que permitan derivar el flujo del agua y obtener muestras puntuales del agua de entrada y salida de las estructuras. Adicionalmente, se contará con sondas multiparamétricas de medición en línea, las cuales permitirán recopilar datos de la calidad del agua (pH, conductividad, turbiedad, SST, etc.) de manera continua y con resolución temporal fina (minutal).







Figura 65. Equipos de medición de calidad del agua y arqueta seca con tomamuestras instalada en Benicàssim-ES. Fuente: LIFE CERSUDS.

Finalmente, se deberá contar con un equipo de medición de variables meteorológicas y pluviométricas. Generalmente, esto se puede acometer con la instalación estaciones meteorológicas que realicen mediciones de temperatura, humedad, radiación solar y profundidad de lluvia.

### 5.3.2. Recopilación de información

En función del tipo de información de monitorización, habrá dos maneras de recopilarla:

- Información en línea: se contará con equipos de recopilación, almacenamiento y transmisión de la misma. Dichos equipos recibirán de manera continua la información de todas las sondas y equipos de medición en línea y, a su vez, estarán conectados a alguna red o esquema de transmisión en tiempo real. Usualmente los proveedores de los equipos de medición en línea proveen también el software necesario para analizar y presentar la información, que incluirá diversas vías de analizar la información.
- Información relativa a muestras puntuales de agua: será dispondrá de los recursos necesarios para vaciar y re-envasar las muestras después de cada medición. Para esto se deberá garantizar el acceso al tomamuestras, y la disponibilidad del personal encargado de realizar esta actividad.

## 5.3.3. Análisis de muestras

El análisis de las muestras puntuales de calidad del agua deberá realizarse mediante laboratorios certificados y especializados en dicha materia, que especifique los protocolos y procedimientos utilizados. Se optará por que el análisis de las muestras incluya, como mínimo, parámetros de concentración de sólidos, nutrientes y materia orgánica. Adicionalmente, si es posible y dependiendo del origen de las escorrentías analizadas, se estudiará la posibilidad de realizar mediciones de la concentración de metales pesados o de parámetros de calidad del agua de interés específicos para cada caso.

Página 94 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





### 5.3.4. Análisis de la información

El procedimiento final de la etapa de monitorización consistirá en plantear un esquema base del análisis de la información. Se recomienda que dicho análisis incluya, al menos, reportes de la información meteorológica y pluviométrica, así como secciones tipo donde se reporte el análisis de resultados para los diferentes eventos de lluvia considerados. Se propone que dicho análisis incluya las reducciones logradas por parte de los SUDS en variables relevantes, como pueden ser los volúmenes y caudales de escorrentía, así como reducciones de contaminantes del agua.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 95 de 110





## 6. Marco regulatorio

### 6.1. Marco europeo

Directiva 2000/60/CE 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, cuyos objetivos son disminuir los impactos negativos sobre las masas de agua y mejorar la gestión de calidad de agua.

Directiva 2006/118/CE 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.

Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño.

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, en donde el principal objetivo es establecer un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, destinado a reducir las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a las inundaciones en la Comunidad.

**Directiva 91/271/CEE**, la cual implanta medidas necesarias para que sean adoptadas por los Estados miembros, a fin de garantizar que las aguas residuales urbanas reciben un tratamiento adecuado antes de su vertido.

Borrador de Directiva 2022/0345 (COD) del Parlamento y Consejo Europeo, en el que se indica que las soluciones para reducir la contaminación como consecuencia del del vertido de aguas urbanas, se deben definir a nivel local teniendo en cuenta las condiciones locales específicas.

**Pacto Verde Europeo**, por el que, en 2019, la Comisión Europea puso en marcha un paquete de iniciativas políticas con el objetivo de dirigir a la Unión Europea hacia una transición ecológica que lleve a alcanzar la neutralidad climática antes de 2050.

#### 6.2. Marco nacional

Ley de aguas, que regula el dominio público hidráulico con respecto a la protección y planificación de las diferentes cuencas hidrográficas, y el uso del agua. Sin embargo, no profundiza en temas de drenaje urbano ni de aguas de lluvias.

Real Decreto 665/2023 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (849/1986), el Reglamento de la Administración Pública del Agua aprobado por el Real Decreto 927/1988 y el Real Decreto 9/2005 por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Su artículo 259 quinquies indica los criterios, por los cuales, las aglomeraciones urbanas de cierta envergadura deberán elaborar un Plan integral de gestión del sistema de saneamiento. Asimismo, su Anexo XI "Norma técnica básica para el control de los

Página 96 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





vertidos por desbordamientos de los sistemas unitarios" del nuevo Real Decreto establece unas normas técnicas básicas para el diseño de las instalaciones para la gestión de la escorrentía urbana, de los sistemas de saneamiento y de los vertidos por desbordamientos del sistema de saneamiento en episodios de Iluvia. Además, y siendo un aspecto muy importante, este Real Decreto recalca la importancia de la gestión y tratamiento de la escorrentía pluvial en origen, fomentando el uso de SUDS.

Real Decreto 903/2010, que regula los procedimientos para realizar la evaluación preliminar del riesgo de inundación causada por ríos o aguas intermitentes en zonas costeras o de transición, transición, pero deja sin regular las inundaciones de origen pluvial y el drenaje urbano.

Real Decreto 638/2016, que trata temas importantes en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales. La entrada en vigor de este Real Decreto supuso un gran avance hacia el cambio de paradigma en España, en cuanto al drenaje urbano se refiere, al incluir los SUDS como una solución de drenaje habitual y de obligado cumplimiento. Su Artículo 126 ter. Criterios de diseño y conservación para obras de protección, modificaciones en los cauces y obras de paso., en su punto 7 indica que:

"[...]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 [...]".

### 6.3. Marco autonómico y local

Ley 1/2018, cuyo objetivo es la protección de sus recursos naturales, mediante la eliminación o reducción de las afecciones provocadas por vertidos, arrastres de sedimentos y otros elementos cualesquiera que puedan contener contaminantes perjudiciales en el entorno del Mar Menor. En su Artículo 17. *Vertidos de aguas pluviales*, punto 5 establece que:

"[...] En prevención de estos vertidos de pluviales los ayuntamientos deberán integrar en sus redes de saneamiento la recogida y canalización de estas aguas a través de redes separativas y la posterior gestión de las mismas destinada a evitar su vertido al Mar Menor, mediante el diseño de alternativas viables, en las que se priorizarán los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) [...]".

Il Plan de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia - Horizonte 2035, en donde uno de sus objetivos es:

" [...] Promover que los sistemas de saneamiento previstos en las zonas de nuevo desarrollo urbanístico sean de tipo separativo, y dotadas de tanques ambientales situados previos al punto de vertido, con el fin de independizar los distintos tipos de contaminación producidos y así evitar el sobredimensionamiento de las redes de alcantarillado y de las estaciones depuradoras [...]".

Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura, que en su Artículo 30. *Lucha y eliminación de la contaminación*, menciona que se considerarán las siguientes actuaciones orientadas a conseguir mejoras de calidad:

Guía SUDS T.M. Murcia Página 97 de 110





" [...] Estudio de viabilidad de la implantación de sistemas de drenaje para proteger la calidad de suelos y acuíferos [...]".

Adicionalmente la reciente actualización del **Código de Urbanismo de la Región de Murcia (2022)**, en su TÍTULO VII, capítulo I, menciona en su artículo 117 que punto I:

"[...] Introducir parámetros de ecoeficiencia con soluciones para paliar los efectos climatológicos, como: — Utilización de pavimentos permeables como medida para evitar la impermeabilización de suelos. — Resolución de la evacuación de aguas mediante redes separativas de pluviales y residuales. — Establecimiento de sistemas de reutilización de aguas pluviales (economía circular). — Implantación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) en los modelos de urbanización. — Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible para aquellos suelos de especiales escorrentías (SUDS) [...]".

Reglamento Municipal del Servicio de alcantarillado y desagüe de las aguas residuales. [Murcia], que, si bien no establece directrices sobre drenaje urbano sostenible, si es de competencia de este documento establecer disposiciones sobre vertidos, en su art. 2 y 3 de su Capítulo II *Prohibiciones y limitaciones de los vertidos*, así como también art. 4. *Solicitud de vertidos*, de su Capítulo III.

Página 98 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





# ANEJO 1. CARACTERIZACIÓN A ESCALA MACRO

### 1. Pluviometría

Los SUDS deben entenderse como parte del sistema de drenaje de la urbanización y se dimensionarán para que, en su conjunto, aseguren la correcta captación, retención, almacenamiento, infiltración y evacuación de las escorrentías. Según las características de cada desarrollo, en el diseño de los SUDS puede primar la gestión de los eventos frecuentes o la capacidad de gestionar, en diferente grado de exigencia, los eventos extremos para los que el sistema de drenaje urbano debe diseñarse, que para el caso de Murcia son las precipitaciones con periodo de retorno de 10 años.

A continuación, se presentan los datos pluviométricos a utilizar en el diseño de los sistemas de drenaje que integran SUDS en el municipio de Murcia, en los casos en los que las autoridades competentes no hayan establecido otros criterios particulares.

## 1.1. Valores de diseño para eventos frecuentes

Con el objetivo de gestionar completamente en origen los eventos frecuentes mediante SUDS que reduzcan el aporte de escorrentía a los colectores y proporcionen un tratamiento adecuado, el diseño de los mismos se basará en los valores de los percentiles volumétricos. Dichos percentiles establecen un volumen de precipitación (cuantil) que no es superado por un determinado porcentaje de los días lluviosos de un año. Como ejemplo, el V<sub>80</sub> establece un volumen de precipitación que, por promedio estadístico, no se supera en el 80 % de los días lluviosos de un año tipo.

Para la determinación de los percentiles de volúmenes de lluvia a emplear en los cálculos se ha tomado como referencia el estudio *Determinación de la Precipitación de Cálculo para el Municipio de Murcia* según su Anexo XI, cuya información más relevante se presenta a continuación.

En este estudio se utilizaron las estaciones del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura existentes en el municipio de Murcia que tuvieran series de datos superiores a los 10 años de registros (Figura 66) a fin de tener una representatividad espacial adecuada.



Figura 66. Estaciones pluviométricas SAIH en el término municipal de Murcia.

Para cada estación, se utilizaron bases de datos de lluvia con resolución diezminutal para los años que se presentan en la Tabla 8. Asimismo, se presentan el número de eventos de más de 1 mm de profundidad y los resultados del cálculo del  $V_{80}$  para cada estación. Por otro lado, la Tabla 9 presenta los valores mínimo, máximo y promedio de todas las estaciones analizadas. Adicionalmente, la Figura 67 representa gráficamente la distribución espacial en el cálculo del  $V_{80}$ , permitiendo identificar que, aunque hay variaciones espaciales, dicha variación está dentro de los rangos esperados.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 99 de 110





Tabla 8. Extensión de las series pluviométricas de las estaciones seleccionadas.

Código	Nombre	Periodo Analizado	Promedio Sucesos Anuales > 1 mm	P <sub>d,80%</sub> Anual Media (mm)
07A01P01	Beniel	1997-2022	32	11,31
01A02P01	Beniscornia	2010-2022	31	14,14
06L01P01	C.P.C.C	1997-2022	30	14,40
01L01P01	Cabecera Crevillente	1997-2022	33	11,73
01A01P01	Contraparada	2009-2022	32	13,53
01E02P01	Embalse Santomera	1997-2022	30	11,44
06P04P01	La Murta	1997-2022	32	13,23
01O03P01	Mula	1997-2022	32	12,23
01A03P01	Murcia	1997-2022	32	14,43
01O06P01	Paretón	1997-2022	30	12,13
01O05P01	Reguerón-El Palmar	1997-2022	32	13,83
06P02P01	Torre Pacheco	1997-2022	28	12,87

Tabla 9. Valores mínimo, máximo y promedio de  $V_{\rm so}$ 

Datos P <sub>d,80%</sub> (mm)					
Promedio Mínimo Máximo					
12,94	11,31	14,43			

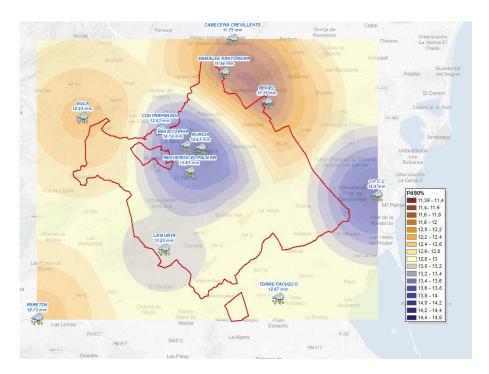


Figura 67. Distribución espacial  $V_{80}$  anual medio.

Página 100 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia



El mismo procedimiento se siguió no solo para el cálculo del percentil 80 sino para otros percentiles que resultan de utilidad para el drenaje urbano. Los resultados obtenidos para los otros volúmenes de referencia se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Percentiles volumétricos de precipitación diaria obtenidos usando varias estaciones en el entorno de Murcia.

Código	Nombre	P <sub>d,98%</sub>	P <sub>d,95%</sub>	P <sub>d,90%</sub>	P <sub>d,85%</sub>	P <sub>d,80%</sub>	P <sub>d,60%</sub>	P <sub>d,50%</sub>
07A01P01	Beniel	51,4	27,1	19,8	14,1	11,3	5,8	4,1
01A02P01	Beniscornia	61,9	34,3	23,1	16,4	14,1	6,5	5,0
06L01P01	C.P.C.C	55,1	34,5	27,5	18,3	14,4	7,2	5,4
01L01P01	Cabecera Crevillente	48,1	26,3	20,8	15,0	11,7	15,0	4,4
01A01P01	Contraparada	62,4	30,1	18,7	15,8	13,5	7,0	5,3
01E02P01	Embalse Santomera	50,5	31,3	19,0	14,4	11,4	5,6	4,4
06P04P01	La Murta	54,3	30,9	20,7	16,4	13,2	5,9	4,5
01O03P01	Mula	47,2	27,2	20,5	20,5	12,2	6,4	4,6
01A03P01	Murcia	56,0	30,6	21,5	16,7	14,4	6,3	4,6
01O06P01	Paretón	43,5	24,7	19,5	14,6	12,1	5,8	4,4
01O05P01	Reguerón-El Palmar	55,1	32,3	23,0	17,2	13,8	6,3	4,8
06P02P01	Torre Pacheco	59,7	39,6	23,9	16,3	12,9	6,1	4,7
PROMEDIO (mm)		53,8	30,7	21,5	16,3	12,9	7,0	4,7

## 1.2. Valores de diseño para eventos extremos

Para el cálculo de infraestructuras hidráulicas es común el empleo de datos extraídos de las curvas de intensidad duración y frecuencia (curvas IDF). Para el municipio de Murcia, según el estudio más reciente llevado a cabo por EMUASA, los valores más destacados de las curvas IDF se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Curva IDF para valores de diseño de infraestructuras hidráulicas.

Duración (min)	T=1 año	T=2 años	T=5 años	T=10 años	T=50 años	T=100 años
5	43,0	90,4	133,7	162,3	225,4	252,1
10	30,7	64,6	95,6	116,1	161,1	180,2
15	25,0	52,5	77,7	94,3	131,0	146,5
20	21,4	45,1	66,7	81,0	112,5	125,8
30	17,2	36,1	53,4	64,9	90,1	100,7
60	11,5	24,2	35,7	43,4	60,3	67,4
90	9,0	18,9	27,9	33,9	47,0	52,6
120	7,5	15,7	23,2	28,2	39,2	43,8
360	3,5	7,5	11,0	13,4	18,6	20,8
600	2,4	5,1	7,6	9,2	12,8	14,3
720	2,1	4,5	6,6	8,0	11,1	12,4
1440	1,2	2,6	3,8	4,6	6,4	7,2

Guía SUDS T.M. Murcia Página 101 de 110





En el caso del municipio de Murcia, se establece que el sistema de alcantarillado y drenaje se diseñe para un periodo de retorno de 10 años (T=10 años). Considerando que los eventos de precipitación críticos no necesariamente son los más intensos en un sistema que integra elementos de laminación, pudiendo ocurrir otros que generen mayor volumen de escorrentía, se trabajará con un conjunto de lluvias de diseño para el diseño de sistemas de drenaje que integren SUDS, que consistirá en hietogramas rectangulares generados a partir de la curva IDF de T=10 años.

Asimismo, cabe destacar que el Cambio Climático está afectando al régimen pluviométrico global, provocando en esta zona que los episodios extremos de lluvias sean cada vez más intensos y frecuentes. En este sentido, existen publicaciones que defienden la necesidad de aplicar factores correctores a los datos obtenidos con estudios pluviométricos basados en series históricas, que permitan que los escenarios futuros sean representativos en el actual contexto de cambio. Algunos estudios a nivel nacional como el "Impacto del Cambio Climático en las Precipitaciones Máximas en España", elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, sugieren emplear factores de mayoración sobre las lluvias de la curva IDF, de modo que se refleje la tendencia a unos episodios cada vez más extremos.

La Figura 68 muestra los coeficientes correctores propuestos por dicho estudio para la Demarcación Hidrográfica del Segura, para el periodo de retorno de 10 años, en el horizonte 2041-2070.

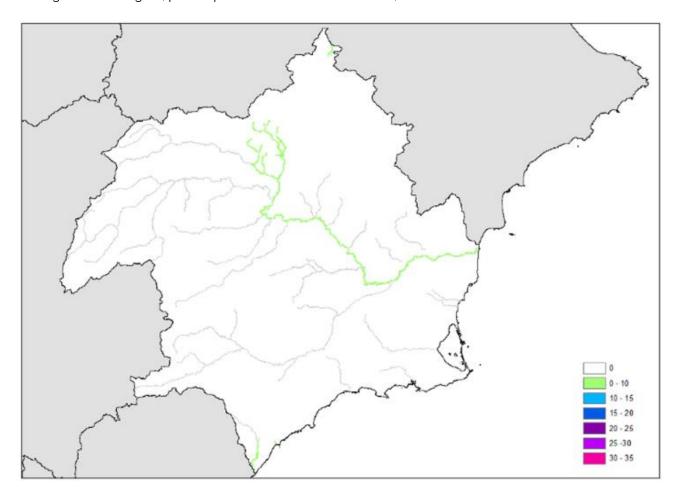


Figura 68. Tasas de cambio en cuantil de precipitación diaria máxima anual acumulada en la DH del Segura para el periodo de impacto 2041-2070 en relación con el modelo SQRT-R para RCP 4.5. Valores para T=10 años. Fuente: CEH-CEDEX.

Página 102 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





De acuerdo con este estudio y mientras no se disponga de otra información más actualizada, para el cálculo de las infraestructuras de drenaje en el municipio de Murcia se aplicará un coeficiente de mayoración del 10 % a los datos presentados en la Tabla 11.

## 2. Geología y geotecnia

Un parámetro de gran importancia para el diseño de SUDS es la capacidad de infiltración del suelo. Este parámetro es el resultado de un estudio geológico dentro de la zona de estudio. Un estudio geológico adecuado permite identificar la permeabilidad de los materiales presentes en el área de análisis, caracterizando dichos materiales según su permeabilidad. Relacionado a este tema, es de vital importancia conocer los acuíferos presentes en la zona de estudio, lo cual también limitará de manera significativa la capacidad de infiltración al subsuelo y, consecuentemente, las estrategias constructivas y de evacuación que se seleccionen para los SUDS.

De acuerdo con la información pública disponible de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS), la zona urbana del municipio de Murcia se asienta principalmente sobre el acuífero de la Vega Media y Baja del Segura, como se muestra en la Figura 69.

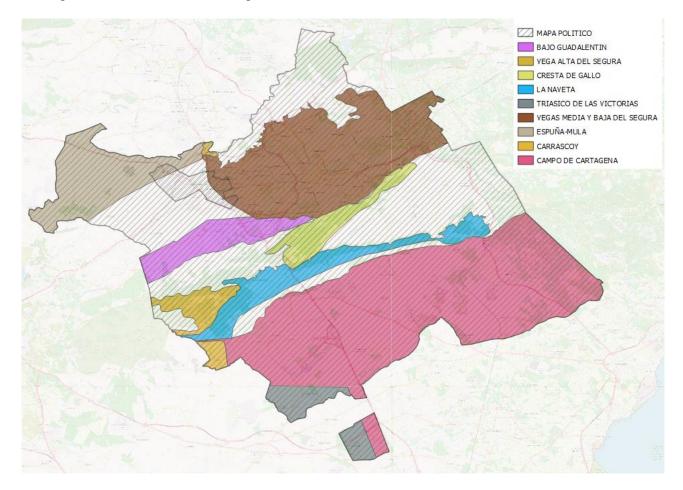


Figura 69. Acuíferos que conforman el término municipal de Murcia.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 103 de 110





## 2.1. Evaluación de permeabilidad

De acuerdo con el Mapa de Permeabilidades de España, la zona del término Municipal de Murcia (la zona con mayor urbanización), se sitúa sobre las formaciones A-1 y A-2 que corresponden a acuíferos de formaciones detríticas permeables en general no consolidadas (ver Figura 70).

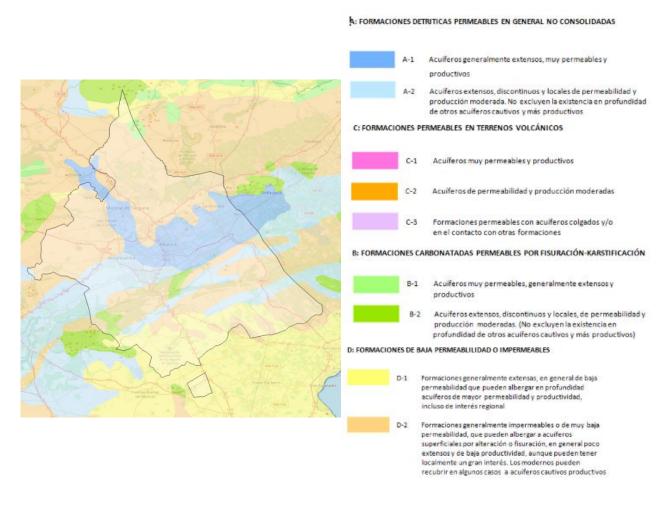


Figura 70. Permeabilidad de acuíferos en el municipio de Murcia.

Una primera aproximación para estimar la capacidad de infiltración que habrá en la zona de estudio será la clasificación de la permeabilidad, dependiendo del tipo de suelo. El Código Técnico de la Edificación establece valores de permeabilidad con base al tipo de suelo, como se muestra en la Figura 71. Para la correcta implementación de estructuras SUDS que permitan la infiltración del suelo, es necesario contar con tipos de suelo de grava, arena o limos, incluso limos arcillosos, que representen valores de permeabilidad superiores a 10-6 m/s.

Página 104 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia





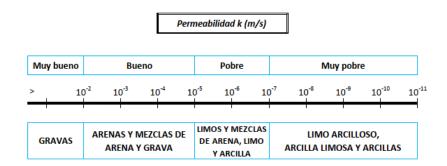


Figura 71. Permeabilidades en función del tipo de suelo según Código Técnico de la Edificación. Fuente: CTE (2008).

En el ámbito geológico, el municipio de Murcia se asienta sobre los sedimentos que pertenecen a un medio continental fluvial de tipo meandriforme, en el curso medio-bajo del río. Bajo un nivel de rellenos, el terreno está erigido por limos y arcillas propios de la llanura de inundación. El sustrato está integrado por masas y lentejones de limos y arcillas con gravas y arenas, correspondientes a los depósitos de abanicos aluviales. La intercalación de estos materiales se produce por los cambios en las condiciones de sedimentación y la correlación existente entre los abanicos aluviales distales y el medio fluvial. A rasgos generales, según estudios previos, se ha dividido el término municipal según el material previsto a encontrarse en el terreno, como se detalla en la Figura 72.

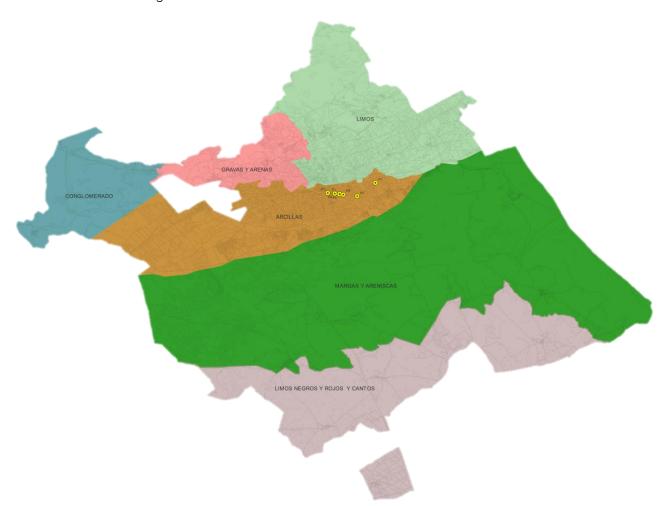


Figura 72. División geológica establecida para el Municipio de Murcia.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 105 de 110





Adicionalmente, se dispone también de ensayos de permeabilidad realizados para diversos proyectos dentro del municipio de Murcia, como se presenta en la Tabla 12. Como se observa, existe una gran variabilidad en los resultados, incluso encontrándose todos ellos dentro de la misma zonificación geológica. Este hecho pone de relieve el carácter indicativo y preliminar de la zonificación mostrada.

Tabla 12. Estudios de permeabilidad realizados en la Ciudad de Murcia.

			P	ermeabilidad (m/	s)
N	Localización	Fecha Ensayo	Mejor	Media	Peor
1	C/ del Limonar	ene-22	5,92·10 <sup>-06</sup>	5,95·10 <sup>-07</sup>	8,49·10 <sup>-08</sup>
2	C/ Fernando Servet	jun-20		1,27·10 <sup>-07</sup>	
3	C/ Torre del Romo	may-10	4,56·10 <sup>-06</sup>	6,45·10 <sup>-07</sup>	1,00.10-09
4	C/Orilla de la vía Ronda Sur	jun-10	9,91·10 <sup>-06</sup>	4,14·10 <sup>-06</sup>	7,68·10 <sup>-07</sup>
5	Carril Nene de Ana	may-10	1,22·10 <sup>-06</sup>	1,82·10 <sup>-06</sup>	9,05·10 <sup>-08</sup>
6	Carril las Vegas	jun-10	9,80·10 <sup>-06</sup>	6,68·10 <sup>-06</sup>	9,23·10 <sup>-08</sup>
7	Camino de Tinosa	abr-14	4,41·10 <sup>-06</sup>	-	1,69·10 <sup>-06</sup>
8	Camino de Los Bastidas	oct-20	6,15·10 <sup>-08</sup>	-	1,98·10 <sup>-09</sup>

### 2.2. Ensayos adicionales de permeabilidad del suelo

A pesar de que el procedimiento descrito previamente se considera una aproximación inicial adecuada para determinar valores de permeabilidad, se optará por desarrollar estudios de campo in-situ para determinar de manera precisa los valores de infiltración del suelo en el área de estudio de los proyectos de implementación de SUDS, tal y como se define en la Sección 4.1.2.1 de esta guía.

## 3. Hidrogeología e inundabilidad

La inundabilidad fluvial puede tener un gran impacto en los diseños de drenaje urbano. Por este motivo, la Guía incluye un análisis que presenta las distintas zonas con riesgo de inundación fluvial dentro del término municipal.

La ciudad de Murcia pertenece a la zona de la cuenca hidrográfica del Segura. La morfología de esta cuenca está dividida en dos zonas por el río Segura: **la zona suroriental**, llana y con divisorias apenas acentuadas, y **la zona noroccidental y meridional**, montañosa y surcada por los afluentes del Segura.

Un estudio hidrológico adecuado debe considerar puntos de vertido y requisitos de calidad y cantidad establecidos por la Demarcación Hidrográfica del Segura. Adicionalmente, hay que considerar el riesgo de inundación. La Figura 73, obtenida a partir del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), muestra los puntos más vulnerables de la ciudad para el periodo de retorno 10 años, de acuerdo con la última actualización disponible de esta cartografía. Dicha información se proporciona a la administración central por parte de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS).

Página 106 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia



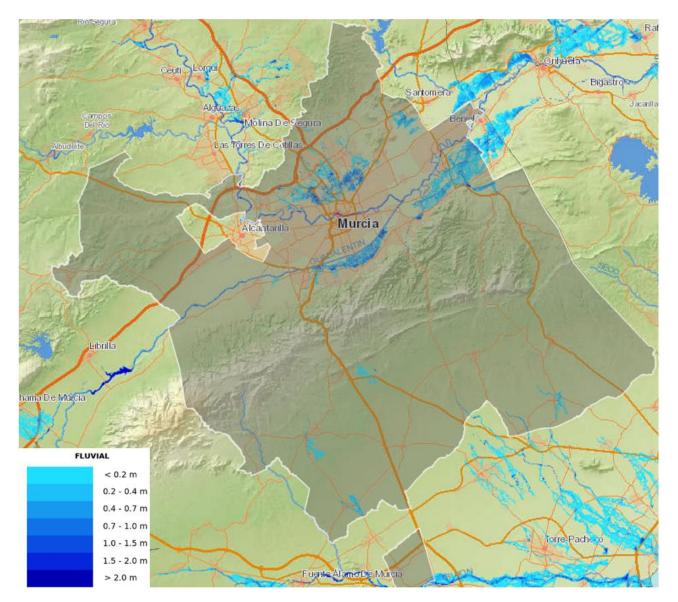


Figura 73. Peligrosidad por inundación fluvial T=10 años para la ciudad de Murcia. Fuente: SNCZI.

Otro factor a considerar en el análisis del riesgo de inundación del proyecto es el nivel freático. En zonas con nivel freático alto se deben considerar los posibles efectos en caso de utilizar SUDS de infiltración (niveles freáticos muy superficiales pueden dificultar la infiltración). A partir de la información de los proyectos recibidos y de datos piezométricos de la Confederación Hidrográfica del Segura, se ha establecido una delimitación de zonas según profundidad tentativa del nivel freático (Figura 74). En general, se identificó que este está dentro de un rango de profundidad de 1 a 5 m en el término municipal. La zona norte del municipio es la que podrá presentar un nivel freático más somero, el cual va incrementando al desplazarse al sur.

Sin embargo, hay que mencionar que para cada caso en específico será necesario la realización de ensayos locales. Por lo general, se optará por guardar una distancia superior a 1 m entre la superficie freática y la base de los SUDS de infiltración.

Guía SUDS T.M. Murcia Página 107 de 110





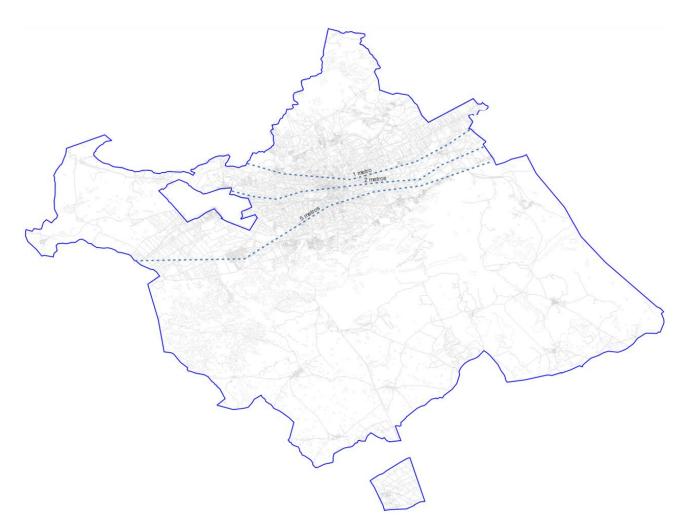


Figura 74. Delimitación de zonas según profundidad del nivel freático en el Municipio de Murcia. Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.

## 4. Otros parámetros a considerar en el diseño

La delimitación de las cuencas drenantes dentro del ámbito del proyecto es primordial para obtener datos como área, cauce, longitud, pendiente, etc. Estas cuencas se obtienen de un estudio topográfico previo, el cual debe considerar los nuevos elementos introducidos por la urbanización, que modifican los flujos y pendientes de la cuenca natural del terreno.

Para determinar el área impermeable de la cuenca a gestionar mediante la implementación de SUDS, se establece una fórmula de cálculo simplificada:

$$A_{IMP} = \sum_{i=1}^{n} c_i * A_i$$

siendo,

- $A_{IMP}$ , área impermeable.
- $A_i$ , áreas a ser drenadas.
- ullet  $c_i$ , coeficiente de escorrentía superficial.

Página 108 de 110 Guía SUDS T.M. Murcia



A su vez, el valor del coeficiente c viene dado en función de la zona de estudio, como se indica en Tabla 13.

Tabla 13. Valores teóricos de coeficientes de escorrentías.

Zona	С
Cubiertas impermeables	1,00
Viales y aceras impermeables	0,95
Pavimento permeable	0,70
Zonas verdes	0,30

Guía SUDS T.M. Murcia Página 109 de 110

