

# Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Libres



**Edita:**

Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad  
Ayuntamiento de Madrid  
Dirección General de Gestión del Agua y Zonas Verdes

**Coordinación:**

María Soledad Checa Sánchez  
Jefa de Servicio de la Oficina Azul. DG Gestión del Agua y Zonas Verdes.

Manuel de Pazos Liaño  
Jefe de Departamento de Inspección y Seguimiento. DG del Espacio Público,  
Obras e Infraestructuras.

**Redacción, Diseño y Maquetación:**

Green Blue Management S.L.U.

Sara Perales Momparler  
Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos  
Elena Calcerrada Romero  
Máster Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

**Colabora:**

DG Espacio Público, Obras e Infraestructuras

Universidad Politécnica de Madrid (UPM)  
Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente

Noviembre 2018  
© Ayuntamiento de Madrid  
Reservados todos los derechos  
Depósito Legal

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	3
1. OBJETO Y ALCANCE .....	5
2. ÁMBITO DE APLICACIÓN .....	7
3. OBJETIVO Y PRIORIDADES DE DISEÑO .....	9
4. TIPOLOGÍA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE .....	11
5. PROCESO DE DISEÑO .....	33
5.1 Reconocimiento del lugar .....	33
5.2 Selección de SUDS .....	37
5.3 Dimensionamiento .....	39
5.4 Tramitación administrativa de la autorización de vertido .....	43
6. EXPERIENCIAS ESPAÑOLAS E INTERNACIONALES .....	45
6.1 Experiencias en la ciudad de Madrid .....	45
6.2 Otras experiencias españolas .....	46
6.3 Experiencias internacionales .....	48
7. BIBLIOGRAFÍA .....	49
7.1 Consultada para la elaboración de la presente guía .....	49
7.2 Manuales y guías de referencia para el diseño .....	50
8. ANEXOS .....	53
ANEXO Nº 1: GEOLOGÍA Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN MADRID .....	55
ANEXO Nº 2: PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN ZANJA .....	57
ANEXO Nº 3: PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD IN SITU EN PAVIMENTOS PERMEABLES .....	59
ANEXO Nº 4: SECCIONES TIPO .....	63



Fuente: Madrid+Natural.

© Arup

## 1. OBJETO Y ALCANCE

Desde que en 2006 el Ayuntamiento de Madrid publicase la pionera Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua, estableciendo, entre otros, unos porcentajes mínimos de superficies permeables en los espacios libres, tanto públicos como privados, son diversos los documentos municipales que abogan por una gestión sostenible de las aguas pluviales, en particular en las zonas verdes (Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid, 2007; Buenas Prácticas en Arquitectura y Urbanismo para Madrid, 2009).

Más recientemente, el programa Madrid + Natural, englobado en la estrategia más amplia marcada por el Plan A de Mejora de la Calidad del Aire, se suma a la corriente del uso de soluciones basadas en la naturaleza e impulsa una infraestructura verde que ofrece múltiples beneficios, siendo una de las soluciones propuestas el Drenaje Sostenible, en cuya ficha se lee:

*“En el ámbito urbano, los sistemas de drenaje de calles y espacios públicos deberán adaptarse para hacer frente a los fenómenos meteorológicos extremos que se prevén a consecuencia del cambio climático. Los sistemas de drenaje sostenible permiten la infiltración natural de las aguas pluviales, atenuando su volumen y facilitando la absorción de agua de escorrentía que proviene de superficies duras. La infiltración al terreno, alivia las redes de drenaje en periodos de precipitaciones intensas, permite racionalizar el dimensionamiento de estas redes, y devuelve al suelo un régimen de humedad más acorde al ciclo natural del agua, resultando especialmente conveniente para la vegetación de la ciudad”.*

Con los mismos objetivos, el Plan de Estrategia Verde y Biodiversidad, que también está incluido en el Plan A antes citado, determina entre sus líneas de acción la incorporación de sistemas de drenaje sostenible en los nuevos viales y los sometidos a reforma, la re-naturalización de plazas duras de la ciudad, la disminución del porcentaje de superficies pavimentadas y el incremento del tamaño y estructura de los alcorques, todo ello con el propósito de gestionar mejor las aguas de escorrentía, disminuir el aporte de agua para riego y mejorar las labores de mantenimiento y conservación de zonas verdes.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) potencian la gestión de la escorrentía urbana en origen (en lugar de trasladar el problema aguas abajo), contribuyendo a reforzar los principios de gobernanza emanados de la legislación madrileña, española y europea: mejora del estado de las masas de agua (reduciendo el impacto de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia); protección frente a inundaciones y sequías; adaptación y mitigación (sumideros CO<sub>2</sub>) al impacto del cambio climático; reducción del consumo energético en el ciclo urbano del agua (aprovechamiento de pluviales, menor volumen de agua a plantas de tratamiento, menos bombeos,

etc.); refuerzo de los valores del Agua y de los Espacios Verdes (transformación de barrios, mejora de la biodiversidad, calidad de vida, habitabilidad de las ciudades, resiliencia, empleo local permanente).

Siendo el lema del Día Mundial del Agua para este año 2018 *“La respuesta está en la naturaleza”*, y en este momento de auge en el empleo de los sistemas urbanos de drenaje sostenible, el Ayuntamiento de Madrid considera oportuna la publicación de esta guía, un documento sencillo y concreto, que permita a los técnicos involucrados desarrollar entornos urbanos, tanto públicos como privados, que realicen una gestión sostenible de las aguas pluviales.

A lo largo del documento, se describen los principales dispositivos SUDS, se establece el proceso de diseño, y se presentan experiencias tanto españolas como internacionales que puedan servir de inspiración. Asimismo, se incorpora al final del documento, un listado de manuales y guías de consulta para obtener información adicional.

Con la publicación de esta guía se apoyan las acciones internacionales encaminadas a afrontar los desafíos de nuestras ciudades, actuales y futuros, al considerar referencias tales como la *“Guía para la gestión del agua con Infraestructura Verde”* (UNEP, 2014) o *“Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua”* (WWAP, 2018). De este modo, la guía ayuda a avanzar en el seguimiento de las Directrices Internacionales de ONU-Habitat sobre Planificación Urbana y Territorial (2015, directriz 14f) y en el cumplimiento de los Objetivo de Desarrollo Sostenible (2015, ODS 6 y otros).

Por último, la aplicación de los criterios presentados en esta guía favorece la obtención de puntos para acreditaciones de sostenibilidad, como VERDE, LEED y BREEAM, al ser un documento que introduce soluciones basadas en la naturaleza para gestionar la escorrentía desde el origen y replicar los procesos hidrológicos naturales del entorno.





Bulevar en Valdebebas, Madrid. Fuente: Junta de Compensación de Valdebebas.

## 2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta guía será de aplicación en zonas verdes y espacios libres cuyo uso sea asimilable al de las zonas verdes (paseos, zonas estanciales, uso deportivo ligero, etc.), tanto públicos como privados, en el municipio de Madrid.

La guía servirá de referencia para desarrollar otros espacios, fomentando así la gestión sostenible de las aguas pluviales en todo el entorno urbano. En particular, se emplearán los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como una actuación prioritaria para aliviar el sistema convencional en zonas urbanizadas o por urbanizar en las que actualmente las infraestructuras de gestión de agua de lluvia estén al límite de su capacidad hidráulica.

Aunque la filosofía es extrapolable al conjunto de la ciudad, los valores que determina esta guía se presentan con el objetivo de hacer posible de manera sencilla el diseño de pequeñas actuaciones de gestión sostenible de las aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios libres (a partir de la aplicación de diferentes suposiciones). Será necesario acordar con el Ayuntamiento de Madrid, y en su caso con la Confederación Hidrográfica del Tajo, los criterios y parámetros a emplear para actuaciones de mayor envergadura o en otros ámbitos, especialmente si se prevé un riesgo de contaminación de las aguas de escorrentía de nivel medio o alto (por ejemplo, en zonas peatonales comerciales o viarios urbanos).

El carácter vivo de la guía acepta nuevas aportaciones al presente documento de partida y, por ello, anima a los usuarios a remitir su experiencia y comentarios a través de la web municipal. De este modo, se configura un documento útil que, a medida que los usuarios hagan de él una herramienta de trabajo, se irá actualizando para recoger así nuevas experiencias y lecciones aprendidas.



Objetivo: alcanzar el buen estado de las masas de agua. Fuente: Green Blue Management.



### 3. OBJETIVO Y PRIORIDADES DE DISEÑO

En base al principal objetivo de diseño de adaptación para hacer frente a los fenómenos meteorológicos extremos, esta guía establece una jerarquía de prioridades que se fundamentan en la gestión de la cantidad y la calidad del agua de lluvia, el diseño orientado al ciudadano y el fomento de la biodiversidad en el ámbito urbano. Los criterios de diseño, que han sido especificados considerando referencias internacionales y nacionales, serán confirmados en base a la experiencia que se desarrolle tras la publicación de la guía y, por lo tanto, podrán ser revisados y adaptados en futuras versiones de la misma.

#### Objetivo de diseño

El objetivo principal del sistema sostenible de aguas pluviales es **detener temporalmente la escorrentía generada en origen para laminar el caudal pico**. Con ello se evita que el agua se dirija directamente aguas abajo del sistema, reduciendo los problemas asociados a la gestión del sistema de alcantarillado municipal en tiempo de lluvia, como inundaciones y vertidos por desbordamiento de los sistemas unitarios (DSU), haciéndolo más resiliente.

En primer lugar, se debe reducir la escorrentía generada en origen a través del diseño, tratando de **minimizar las superficies impermeables**. De este modo se pretende contribuir a reproducir las condiciones iniciales al desarrollo o, si se trata de un proyecto de rehabilitación, liberar parte de la red comprometida inicialmente. Con este enfoque se pretende, por ejemplo, modificar el diseño tradicional de impermeabilización de las plazas, introduciendo más zonas verdes que disminuyan la generación de escorrentía y, además, almacenen la escorrentía generada en las zonas impermeables adyacentes.

El criterio de diseño que habrá que seguir es almacenar el volumen de lluvia que no es superado por el 80 % de los eventos de precipitación ( $V_{80} = 15 \text{ mm}$ ) y verterlo lentamente tras su filtrado. Con este almacenamiento temporal se producirá una reducción de los caudales pico (laminación) que generarían las tormentas más cortas e intensas.

Para dimensionar el vaciado y el rebose (con caudales ya laminados), se debe seguir el orden de prioridad descrito en la Figura 1. Es responsabilidad del usuario de esta guía justificar los motivos que le han llevado a pasar de una prioridad a otra.

#### Prioridad 1: Infiltrar

Para el diseño del propio SUDS se aconseja almacenar e infiltrar en origen tanta escorrentía como las condiciones del lugar lo permitan (ver apdo. 5.2.1). De este modo, se contribuye a la recarga de acuíferos, una vez asegurada la calidad del agua a infiltrar.

Si la infiltración es viable y el coeficiente de permeabilidad de cálculo del terreno es superior a  $10^{-6} \text{ m/s}$ , el criterio de diseño que habrá que seguir es almacenar para su posterior infiltración el  $V_{80}$ , y dimensionar el rebose según las especificaciones establecidas en los niveles de prioridad 2 y 3, según el caso.

#### Prioridad 2: Verter a cauce o arroyo cercano

Se debe seguir el objetivo de verter a cauce o arroyo cercano, cuando exista uno en las inmediaciones, el agua que no pueda infiltrarse. Por tratarse de vertido a una masa de agua, se cumplirá lo que disponga la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT) en cada caso.

En base a la experiencia en otros países (EPA, 2008; Atlanta Regional Commission, 2016), y a falta de indicación específica por parte de la CHT, para el ámbito de aplicación de esta guía, se propone un planteamiento simplificado que incluye la laminación de caudales y el tratamiento de la escorrentía generada, considerando su bajo nivel de riesgo de contaminación. De este modo, se podrán dar dos situaciones:

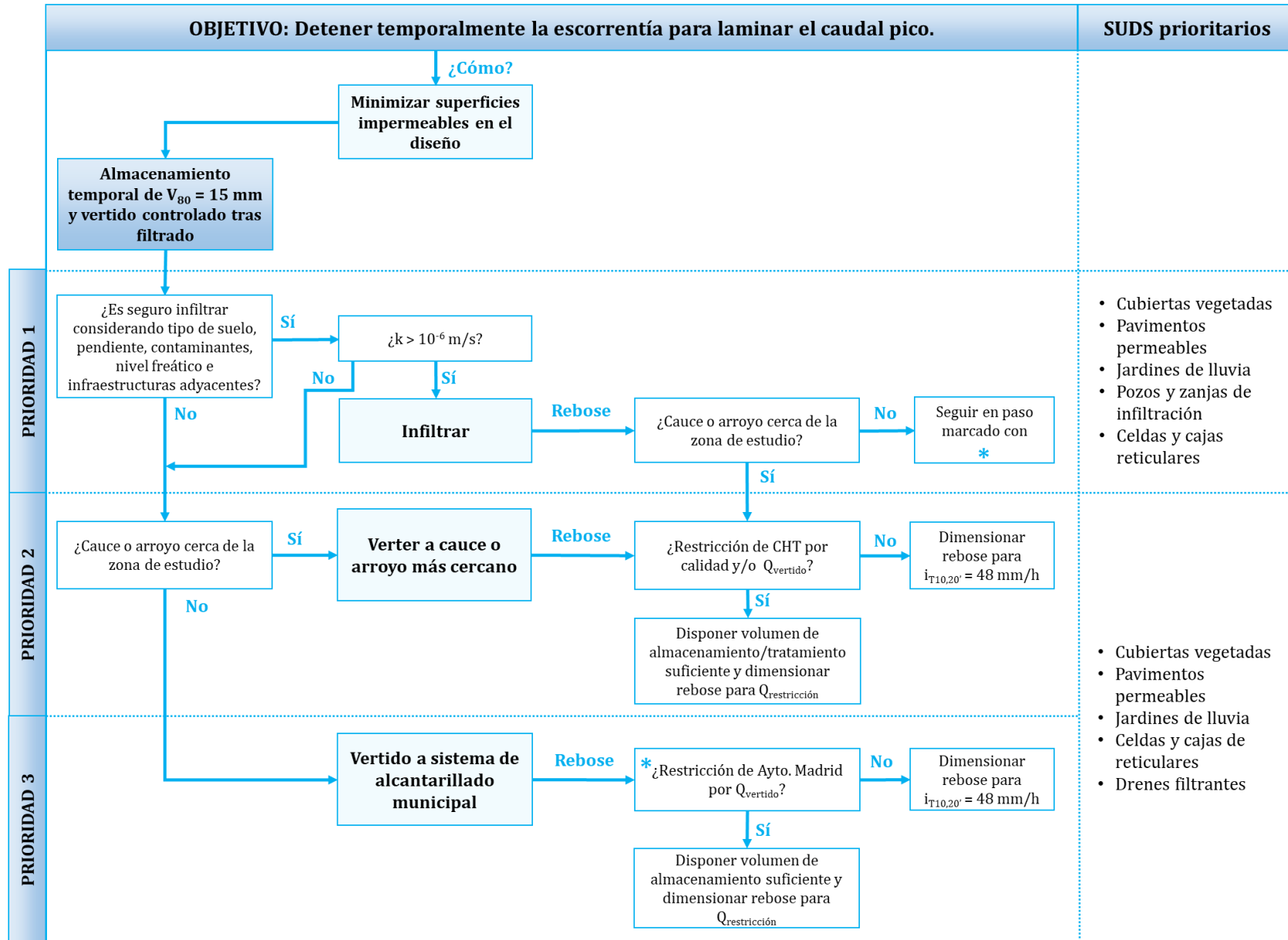
- I. Que la infiltración sea viable, en cuyo caso se fomentará la infiltración del volumen almacenado  $V_{80}$  (prioridad 1).
- II. En caso contrario, se almacenará el volumen  $V_{80}$ , procediendo a su vertido a cauce o arroyo tras haber sido filtrado por una combinación de vegetación, suelo, material granular y/o geotextiles (según la técnica de drenaje sostenible empleada). Dicho vertido se realizará de manera controlada (ver apdo. 5.3).

En ambos casos, el rebose se dimensionará para una tormenta de diseño uniforme de periodo de retorno 10 años y 20 minutos de duración, ya que se considera que el propio almacenamiento del  $V_{80}$  producirá la laminación de los caudales pico de las tormentas más intensas (ver apdo. 5.1.4).

#### Prioridad 3: Verter al sistema de alcantarillado municipal

Si no es posible verter a cauce o arroyo, entonces el vertido, bien sólo del rebose o de toda la escorrentía generada, debe dirigirse al sistema de alcantarillado municipal, una vez laminado. De este modo, se plantea la convivencia del sistema convencional con el planteamiento de drenaje sostenible. Además, la presencia de los SUDS repercute en una mejora del funcionamiento del sistema de alcantarillado municipal.

Se debe comprobar si el Ayuntamiento de Madrid establece algún tipo de restricción para verter al sistema municipal de alcantarillado y, de ser así, el diseño debe garantizar el cumplimiento de dicha restricción. Si no existen limitaciones, se seguirán las mismas indicaciones que las presentadas en la prioridad 2 (ver apdo. 5.3).



**Legenda**

$k$  = Coef. permeabilidad cálculo;  $V_{80}$  = Volumen de lluvia percentil 80%;  $Q_{\text{vertido}}$  = Caudal vertido;  $i_{T10,20'}$  = Intensidad de periodo de retorno 10 años y 20 min de duración; CHT = Confederación Hidrográfica del Tajo

Figura 1. Niveles de prioridad de vertido.

## 4. TIPOLOGÍA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Para el ámbito de aplicación de esta guía, se ha realizado una selección de los tipos de SUDS más apropiados para la ciudad de Madrid, cuyas principales características se presentan a modo de ficha en este capítulo. Cada ficha contiene la siguiente información:

- **Descripción:** texto breve que resume sus principales características.
- **Valoración:** orientación cualitativa de diferentes aspectos del SUDS mediante su clasificación gradual.
- **Esquema y ejemplo:** se adjunta un diagrama con la composición típica de cada dispositivo, junto con una fotografía de alguna obra realizada en Madrid o en el resto de España.
- **Criterios de diseño:** consideraciones a tener en cuenta durante la selección de los dispositivos a introducir en el sistema de drenaje de la actuación, así como criterios particulares de diseño.
- **Beneficios y limitaciones:** aspectos relevantes a considerar a la hora de seleccionar los dispositivos de gestión de las aguas pluviales.
- **Requisitos de mantenimiento:** incluye tanto labores de mantenimiento ordinario, como extraordinario, así como tareas de inspección.
- **Consideraciones de implantación:** orientación cualitativa de los requisitos de espacio, los requisitos del terreno donde se podría usar la técnica SUDS y la efectividad en cuanto al tratamiento de la escorrentía ante la presencia de vehículos ligeros. Además, se presentan costes medios, tanto de construcción (obtenidos en base a la limitada experiencia recabada y el cuadro de precios del Ayuntamiento de Madrid vigente), como de mantenimiento (extraídos de Morales-Torres et al., 2015). Los valores de costes sólo pueden servir como una primera orientación, siendo necesario su cálculo para cada caso en particular.

La tipología de SUDS contemplada incluye los siguientes dispositivos: cubiertas vegetadas; aljibes; pavimentos permeables; alcorques estructurales; jardines de lluvia; pozos y zanjas de infiltración; celdas y cajas reticulares; drenes filtrantes; cunetas vegetadas; y elementos complementarios (válvulas de vórtice, separadores hidrodinámicos, y filtros compactos).





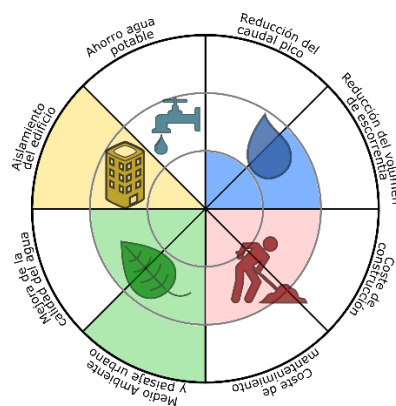
El antes y el después de la construcción de la cubierta vegetal en el supermercado Mercadona de la C/ Bravo Murillo (Madrid). Fuente: Mercadona S.A.

## CUBIERTAS VEGETADAS

### DESCRIPCIÓN:

Las cubiertas vegetadas son un sistema multicapa, compuesto de un sustrato con vegetación sobre una capa drenante y una membrana impermeable, instalado en la cubierta de un edificio. La lluvia que cae sobre este sistema, es filtrada por la vegetación, retenida por el sustrato y, el exceso, evacuado a través de la capa drenante, que a su vez también puede tener una capacidad de almacenamiento de agua importante (que servirá como riego pasivo en periodos secos). Según el tipo de vegetación y el espesor de la capa de sustrato, pueden clasificarse en cubiertas extensivas (con plantas tipo sédum o césped), e intensivas (con vegetación de mayor porte, incluso arbolado).

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Filtro de hojas.
- 2.- Grava.
- 3.- Vegetación.
- 4.- Sustrato.
- 5.- Lámina geotextil filtrante.
- 6.- Drenaje/almacenamiento.
- 7.- Membrana impermeable.
- 8.- Aislante térmico.
- 9.- Estructura.
- 10.- Bajante.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Cubierta vegetalada en el supermercado Mercadona de la C/ Bravo Murillo (Madrid). Fuente: Mercadona S.A.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- Los factores que afectan al diseño son: la inclinación de la cubierta; el número, porosidad y tipo de capas utilizadas en el sistema; el tipo de vegetación; y los patrones de lluvia.
- La capacidad portante del edificio debe resistir la cubierta completamente saturada, y la cubierta debe estar protegida con una membrana impermeable.
- La lluvia cae directamente sobre la cubierta, por lo que no necesita elementos de entrada. Cuando se satura, la salida se realiza a través de un sumidero con rejilla que evite la entrada de hojas a la bajante.
- El sustrato debe ser permeable, no muy pesado cuando esté saturado, y contener sólo los nutrientes suficientes para el crecimiento de la vegetación.
- La vegetación seleccionada debe tener bajo mantenimiento y resistir a las condiciones extremas.
- Se debe incluir el acceso a la cubierta para, al menos, las labores de mantenimiento, e incorporar los medios de seguridad necesarios para llevarlas a cabo.
- El sistema suele ocupar entre el 50-80 % de la cubierta.

### BENEFICIOS:

- Disminuye principalmente el volumen de escorrentía.
- Reducen el área impermeable.
- La lluvia que cae es devuelta a la atmósfera tanto por la evaporación como la transpiración de las plantas, quienes eliminan contaminantes de la escorrentía.
- Contribuye a la resiliencia climática, la mejora de la calidad del aire, reduce los niveles de ruido, mejora la vida útil de la cubierta, aumenta el valor de la propiedad y reduce el efecto isla de calor en los entornos urbanos.
- Ofrecen un alto valor ecológico, estético y de recreo.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Riego durante el periodo de implantación (1-2 años), y luego según necesidades.
- Retirada de vegetación invasiva, semestralmente.
- Reposición de plantación muerta, según necesidad.
- Mantenimiento propio de la vegetación en cubiertas intensivas, o siega de césped, en su caso.
- Inspección anual de todos los elementos, especialmente de los sumideros en busca de obstrucciones.

### LIMITACIONES:

- El edificio debe ser capaz de soportar el peso adicional de la cubierta vegetalada. En edificios existentes, pudiera ser necesario reforzar su estructura.
- Mayores costes, en construcción y mantenimiento, generalmente, que los tejados convencionales.
- Puede ser difícil establecer una vegetación constante y duradera por las condiciones climáticas, incluso ser necesario su riego pasado el periodo de implantación.
- Capturan y tratan únicamente la escorrentía de la cubierta donde se instalan.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	Sí
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	-
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	-
Costes cubierta extensiva:	
* Construcción	90 - 150 €/m <sup>2</sup>
* Mantenimiento	15 €/m <sup>2</sup> /año 0,2-45 €/m <sup>2</sup> /año



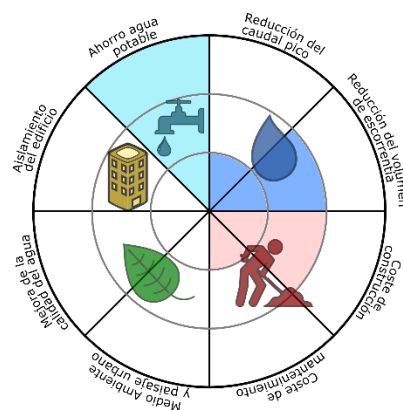
Aljibe en el colegio público Gozalbes Vera de Xàtiva (Valencia). Fuente: Green Blue Management.

## ALJIBES

### DESCRIPCIÓN:

Los aljibes son estructuras sencillas que permiten el aprovechamiento del agua de lluvia. Interceptan la escorrentía de tejados y superficies impermeables y la almacenan para su empleo en usos que no requieran la calidad del agua potable, como es el riego de jardines o la limpieza de vehículos, entre otros. Por su localización puede distinguirse entre los que están al aire libre, que podrían funcionar por gravedad, y los enterrados, para los que hará falta un sistema de bombeo. Entre los materiales más comúnmente empleados están los prefabricados de polipropileno y los contruidos in-situ, que suelen ser de hormigón.

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Filtro para hojas.
- 2.- Bomba de agua.
- 3.- Apertura para mantenimiento.
- 4.- Agua aprovechada para usos no potables.
- 5.- Desvío de las primeras aguas.
- 6.- Excedente al sistema de drenaje.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Aljibe en el colegio público Gozalbes Vera de Xàtiva (Valencia).

Fuente: Green Blue Management.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- Para dimensionar el aljibe se debe tener en cuenta el área drenante, la cantidad y la naturaleza de las demandas, los patrones de lluvia del lugar, el espacio disponible y el presupuesto. Se debe diseñar un bypass para cuando el aljibe esté lleno.
- La instalación del sistema en un lugar elevado puede reducir o eliminar los requisitos de bombeo.
- El aljibe debe ser estanco, duradero, no reflectante, ligero, opaco (para evitar el crecimiento de algas) y de fácil acceso para su limpieza.
- El pretratamiento suele estar compuesto por una rejilla, preferiblemente autolimpiable, para evitar la entrada de hojas, sedimentos, parásitos y mosquitos.
- La calidad de la escorrentía depende del material del tejado, el tipo de materiales que se depositan sobre él y el régimen de mantenimiento del mismo. Por ejemplo, no suele ser aconsejable recoger agua de los tejados con cobre o zinc, o de los tratados con fungicidas o herbicidas.

### BENEFICIOS:

- Puede reducir la factura del agua, pues reduce la cantidad de agua potable empleada.
- Mejoran la operatividad del sistema municipal de alcantarillado, pues evitan que agua relativamente limpia, entre al sistema.
- El aljibe puede ser visualmente atractivo y estar integrado en el desarrollo; también puede estar combinado con iniciativas educativas.
- Es un componente de 'edificios verdes', que contribuye a obtener créditos en las certificaciones de sostenibilidad.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Retirar las hojas y residuos acumulados en las canalatas y en el filtro de entrada, especialmente en otoño.
- Revisar el crecimiento de algas en el interior del dispositivo, y en caso de encontrarlas, tratar el agua para eliminarlas.
- Revisar el sistema de bombeo para asegurar el correcto funcionamiento.
- Vaciar y limpiar el aljibe trienalmente.

### LIMITACIONES:

- Generalmente su capacidad de almacenamiento es limitada, por lo que no disminuyen el volumen de escorrentía de forma significativa.
- El agua almacenada debe ser utilizada periódicamente entre eventos de lluvia para maximizar la capacidad de almacenamiento y minimizar la escorrentía.
- Puede ser necesario el empleo de una bomba (se considerará el uso de bombas solares).
- Debe haber una fuente de agua alternativa para asegurar que se da respuesta a la demanda.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	Sí
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	Sí
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	-
Costes de construcción:	250-400 €/m <sup>3</sup>
Costes de mantenimiento:	1 €/m <sup>3</sup> /año      0-5 €/m <sup>3</sup> /año



Aparcamiento de hormigón poroso en el Estadio del Atlético de Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

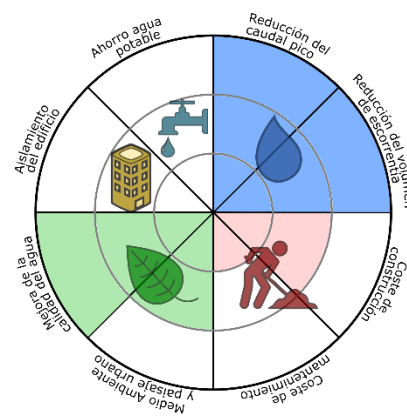


## PAVIMENTOS PERMEABLES

### DESCRIPCIÓN:

Los pavimentos permeables son una estructura portante, que permite el paso tanto de peatones como de vehículos, así como la filtración de la escorrentía hacia una capa inferior de almacenamiento temporal (sub-base), compuesta por gravas, celdas y/o cajas reticulares. Tras su almacenamiento, el agua se evacúa por infiltración y/o a través de drenes. La capa superficial puede ser de pavimento continuo, como hormigón o asfalto poroso, o modular. A este último tipo pertenecen los adoquines porosos, los adoquines permeables por junta o el césped reforzado.

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Pavimento permeable.
- 2.- Capa de apoyo de arenas gruesas o gravas finas.
- 3.- Capa de transición con gravas medias.
- 4.- Capa de almacenamiento con gravas gruesas.
- 5.- Suelo natural.
- 6.- Infiltración cuando sea posible.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Aparcamiento de hormigón permeable en el Estadio del Atlético de Madrid.  
Fuente: Ayto. de Madrid.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- Se diseña para gestionar la escorrentía que se genera en su superficie y las áreas impermeables adyacentes (normalmente, la relación es  $2A_{\text{impermeable}} : 1A_{\text{permeable}}$ ).
- No aconseja dirigir al pavimento permeable la escorrentía procedente de superficies con alto potencial de arrastre, para evitar su colmatación. Si se hace, debe introducirse un elemento de pretratamiento (p.ej. una pequeña zanja de infiltración).
- La permeabilidad del pavimento será  $\geq 2500$  mm/h.
- Para evacuar por infiltración se necesita, habitualmente, una permeabilidad  $\geq 10^{-6}$  m/s y, para valores inferiores, se instalará un dren que permita la evacuación controlada del agua almacenada en la sub-base.
- El vaciado del agua almacenada en la sub-base debe producirse en un plazo inferior a las 48 h.
- Para aumentar el volumen de almacenamiento temporal cuando hay pendientes elevadas (del orden del 5-10 %), se pueden construir terrazas.
- Se aconseja instalar una lámina de geotextil entre el terreno natural y el material de la sub-base.

### BENEFICIOS:

- Reducción del caudal punta y el volumen de la escorrentía de aguas pluviales.
- Mejora de la calidad del agua al retener sedimentos, aceites, grasas, metales pesados y algunos nutrientes.
- Reduce el área dedicada únicamente a la gestión de escorrentía, pues permite el tránsito tanto de peatones como de vehículos.
- Posible recarga de acuíferos y aprovechamiento del agua de lluvia.
- Gran variedad de diseños y flexibilidad para adaptarse a diferentes entornos urbanos.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Emplear barrederas o aspiradores para limpiar el pavimento, según sea requerido (la frecuencia suele venir condicionada por razones estéticas).
- Mantener la hierba de las áreas colindantes recortada.
- Inspeccionar en busca de charcos de larga duración y realizar ensayos de permeabilidad bienalmente.
- Al cabo de los años, puede requerir una aspiración en profundidad para recuperar la permeabilidad inicial.

### LIMITACIONES:

- No se recomienda en lugares con tráfico de vehículos pesados, lugares con altas cargas de sedimentos ni zonas donde existan muchos árboles.
- Se reduce su permeabilidad con la exposición a sedimentos, especialmente los finos, y materia orgánica, siendo la causa común de fallo su colmatación.
- Actualmente requiere personal especializado para su correcta construcción.
- No está permitido dirigir la escorrentía de áreas vegetadas hacia el pavimento permeable.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	Sí*
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	Sí*
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	Sí
Costes de construcción:	20 - 35 €/m <sup>2</sup>
Costes de mantenimiento:	1 €/m <sup>2</sup> /año      0,08-3 €/m <sup>2</sup> /año

(\* ) Cuando esté provisto de drenaje en la base.



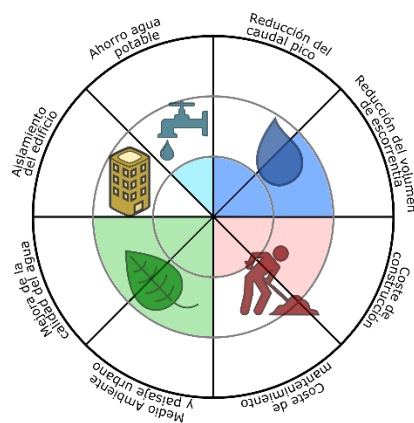
Alcorque estructural en el barrio de Bon Pastor de Barcelona. Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo, Barcelona.

## ALCORQUES ESTRUCTURALES

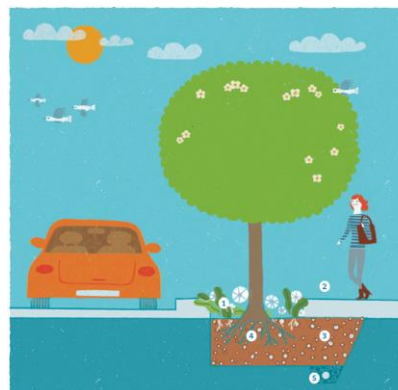
### DESCRIPCIÓN:

Los alcorques estructurales, también conocidos como alcorques de infiltración, son el conjunto del hueco en el pavimento donde se planta el árbol y el suelo estructural que lo rodea y sobre el que asienta el pavimento, sin interferir con los servicios subterráneos urbanos. El suelo estructural, formado por gravas o celdas rellenas de tierra vegetal, permite el desarrollo de las raíces, tiene capacidad portante para ser transitado y alberga la escorrentía temporalmente. El exceso de agua podrá infiltrarse al terreno y, si no es posible, ser dirigido hacia el siguiente elemento del sistema de drenaje.

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Rejilla para proteger el árbol.
- 2.- Acera.
- 3.- Suelo estructural.
- 4.- Desarrollo de raíces del árbol.
- 5.- Tubería ranurada de drenaje.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Alcorque estructural en el barrio de Bon Pastor de Barcelona.

Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo, Barcelona.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- El diseño debe garantizar que: el suelo permite la filtración del agua; la especie escogida es compatible con las condiciones de drenaje; la zona de almacenamiento de agua no daña a las raíces; y el espacio es adecuado para el crecimiento de las raíces en condiciones saludables.
- El suelo está compuesto, generalmente, por suelo reforzado con gravas o elementos geocelulares de polipropileno. De este modo, ofrece resistencia y, a la vez, provee huecos para el almacenamiento del agua, del aire y el desarrollo de las raíces.
- Pueden incluir almacenamiento superficial diáfano, pero entonces esa zona deja de ser transitable.
- Se aconseja colocar un elemento que permita monitorizar el almacenamiento de agua, que puede consistir en un tubo ranurado colocado en vertical y provisto de una tapa.
- El tipo de árbol seleccionado debe tener un follaje extenso y denso, un sistema de ramificación vertical, ser tolerante a la sequía y a la saturación del medio y resistir los contaminantes del aire y del agua.

### BENEFICIOS:

- Beneficia el desarrollo radicular de los árboles y, por tanto, su crecimiento.
- Aumentan la seguridad de los viandantes y la supresión de diferencias de cota, al evitar que las raíces rompan el pavimento en busca de agua y aire.
- Los árboles pueden proteger y mejorar el ambiente urbano: contribuyendo a las estrategias de gestión de agua; añadiendo belleza y carácter al paisaje urbano; reduciendo el consumo energético anual; filtrando los contaminantes del aire; amortiguando el ruido; creando hábitats naturales; y absorbiendo y almacenando el CO<sub>2</sub>.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Regar según necesidades, sobre todo en época seca para facilitar su crecimiento y supervivencia.
- Revisar los alcorques después de los eventos de precipitación, así como el tubo de inspección, para verificar el adecuado vaciado del agua, durante el primer año.
- Retirar periódicamente la basura acumulada y los desechos, así como las malas hierbas.
- Realizar las podas requeridas según la especie.

### LIMITACIONES:

- Respecto a otras técnicas SUDS, no ofrece una gran reducción del volumen de escorrentía.
- El coste de instalación es superior al de un alcorque tradicional.
- Su ubicación está limitada por la presencia de servicios enterrados, como electricidad o gas.
- Es necesaria la previsión de excavaciones para la reparación de servicios enterrados para no afectar y dañar el alcorque estructural.
- Puede necesitar la colocación de una membrana lateral para prevenir la migración de agua al viario.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	Sí*
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	Sí*
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	No
Costes de construcción:	180 - 300 €/ud
Costes de mantenimiento:	-

(\* ) Cuando esté provisto de drenaje en la base.



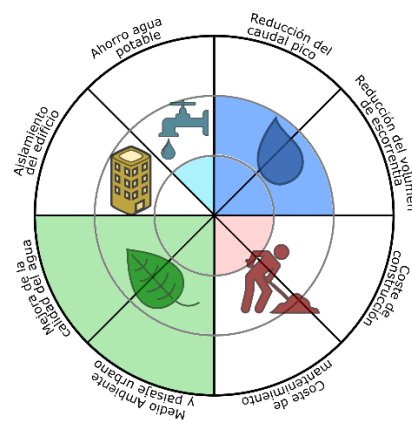
Jardín de lluvia en la C/ Alfonso XIII con C/ Paraguay, en Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

## JARDINES DE LLUVIA

### DESCRIPCIÓN:

Los jardines de lluvia, también conocidos como parterres inundables, son depresiones cubiertas de vegetación, que facilitan el almacenamiento superficial de escorrentía. Reducen los contaminantes mediante la filtración de la escorrentía a través de la vegetación y el suelo preparado inferior. Si es posible, el agua se infiltra al terreno y, en caso contrario, se puede instalar un drenaje sub-superficial para evacuar controladamente la escorrentía almacenada. Las plantas también contribuyen a su vaciado mediante la transpiración.

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Agua desde superficie impermeable.
- 2.- Bloque dissipador de energía.
- 3.- Separación suficiente de la cimentación.
- 4.- Ancho mínimo (más de 2 m.)
- 5.- Vegetación resistente a periodos húmedos y secos.
- 6.- Profundidad entre 15 y 30 cm
- 7.- Infiltración al subsuelo.
- 8.- Tierra vegetal.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Jardín de lluvia en la C/ Alfonso XIII con C/ Paraguay, en Madrid.  
Fuente: Ayto. de Madrid.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- El almacenamiento temporal superficial suele tener una altura inferior a 300 mm; y el suelo preparado con material orgánico, un espesor de 200-500 mm.
- Cuando el agua procede de zonas con nivel medio de contaminación, el espesor de sustrato debe aumentarse hasta 0,8-1 m para aumentar la capacidad de biorremediación.
- La base debe ser lo más plana posible.
- Las pendientes laterales máximas son 3H:1V, pero si se protegen contra la erosión se permite 2H:1V.
- La entrada de escorrentía debe estar habilitada con una protección para evitar la erosión.
- La vegetación debe ser densa para potenciar la filtración y la permeabilidad, con especies autóctonas.
- Para eventos que excedan la capacidad de diseño, se debe disponer de un punto de rebose, que se intentará localizar cerca del punto de entrada (para evitar la erosión).
- En terrenos impermeables se le dotará de un drenaje sub-superficial.

### BENEFICIOS:

- Mejoran la calidad del agua y del aire.
- Instalación sencilla y poco costosa.
- Ofrecen una gran variedad de tamaños y diseños creativos para adaptarse con el lugar y hacerlo más atractivo.
- Aumenta la proporción de área permeable en el medio urbano.
- Mejoran la estética del entorno al introducir áreas de almacenamiento efímero de agua.
- Contribuyen a la biodiversidad local, con oportunidades para hábitats de pequeños animales, aves e insectos.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Necesitan riego suplementario durante los 2-3 primeros años, y en época de sequía prolongada.
- Mantenimiento regular de la vegetación.
- Puede requerir reparaciones por erosión en los puntos de entrada del agua.
- Deben realizarse inspecciones anuales para comprobar que se mantiene la permeabilidad del suelo, o en su defecto, escarificar para recuperarla.

### LIMITACIONES:

- La vegetación requiere un mantenimiento periódico para preservar el atractivo del lugar.
- La escorrentía debe filtrarse hacia las capas inferiores y ser evacuada en menos de 48 h, pues el estancamiento prolongado de agua podría conducir a tener problemas de olores y mosquitos.
- No se puede utilizar fertilizantes o productos químicos para no contaminar la escorrentía.
- Suele especificarse que disten al menos 2-3 m de cimentaciones cercanas, o considerar el uso de geomembranas de protección.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	Sí*
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	Sí*
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	Sí
Costes de construcción:	30 - 200 €/m <sup>2</sup>
Costes de mantenimiento:	2,5 €/m <sup>2</sup> /año 1,5-4,9 €/m <sup>2</sup> /año

(\* ) Cuando esté provisto de drenaje en la base.



Zanja de infiltración en La Atalayuela, en Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

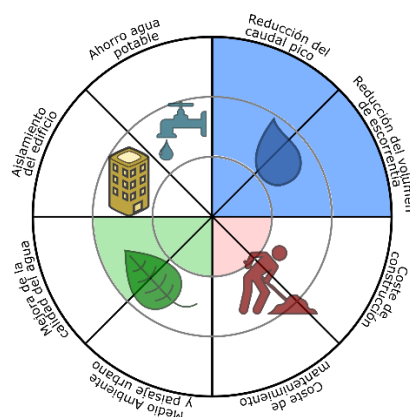
## POZOS Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN

### DESCRIPCIÓN:

Los pozos y zanjas de infiltración son excavaciones en el terreno que captan y almacenan temporalmente la escorrentía de superficies impermeables contiguas antes de su infiltración al subsuelo.

La diferencia reside en la forma de la excavación. Las zanjas son lineales, poco profundas y están rellenas de material drenante (granular o sintético); la superficie puede recubrirse de hierba, grava, arena o vegetación, sirviendo de pretratamiento. En cambio, en los pozos predomina la dimensión vertical, son profundos y están rellenos con material drenante (pozos de infiltración sin revestir) o contienen las tierras con un anillo reforzado (pozos de infiltración revestidos).

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Sistema de pre-tratamiento.
- 2.- Flujo superficial.
- 3.- Ancho de la zanja.
- 4.- Abertura de inspección visual.
- 5.- Gravas finas.
- 6.- Gravas gruesas.
- 7.- Terreno con capacidad de infiltración.
- 8.- Lámina geotéxtil.
- 9.- Profundidad 1-2 m.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Zanja de infiltración en La Atalayuela, en Madrid.  
Fuente: Ayto. de Madrid.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- El volumen de almacenamiento depende del área impermeable, la permeabilidad y la estabilidad del terreno, los patrones de lluvia del lugar, la porosidad del material drenante y el espacio disponible.
- Deben vaciarse por infiltración completamente dentro de las 48 h posteriores al evento de lluvia.
- Una lámina de geotextil debe revestir el sistema para prevenir que las partículas finas lo colmaten. También suele colocarse un geotextil a unos 20 cm de la superficie para proteger la parte inferior de la entrada de sedimentos, y facilitar las labores de mantenimiento.
- La pendiente longitudinal de la base de la zanja debe ser lo más horizontal posible (máximo 3 %); y las pendientes laterales no mayores a 1H:3V.
- Los pozos revestidos alcanzan profundidades de 1,5 – 4 m y requieren de un pretratamiento con una reja (que impida la entrada de basura y sedimentos) y una abertura de inspección visual, para las tareas de mantenimiento.

### BENEFICIOS:

- Reducen el volumen de escorrentía y el caudal pico.
- Mejoran la calidad de la escorrentía y preservan el equilibrio natural del agua en su entorno.
- Pueden servir como mecanismo de riego pasivo para el arbolado o vegetación de las áreas adyacentes.
- Los pozos tienen una huella muy pequeña y se pueden usar en espacios reducidos.
- Las zanjas ayudan a distribuir el área de infiltración, por lo que reduce el impacto de las áreas poco permeables.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Eliminar hojas y sedimentos mensualmente.
- Inspección semestral de las estructuras de entrada, de pretratamiento y de filtración (en busca de encharcamientos).
- Cada 5 o 10 años, puede ser necesario rehabilitar las superficies de filtración (p. ej., retirando, lavando y recolocando los 20 cm superiores de material granular y reemplazando la capa superior de geotextil).

### LIMITACIONES:

- Restringidos a lugares con elevada permeabilidad, sin altas cargas de finos (para evitar colmatación) y distancia al nivel freático > 1 m.
- La pendiente longitudinal de las zanjas debe ser inferior al 2-3 % para facilitar la infiltración.
- No puede circular tráfico sobre el sistema, a no ser que haya sido diseñado con la capacidad portante suficiente.
- Es difícil detectar la contaminación y colmatación de los materiales granulares del fondo cuando no se ha previsto un filtro más superficial.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	No
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	No
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	Si*
Costes de construcción:	Zanja: 20 - 35 €/m Pozo: 25 - 40 €/m <sup>3</sup>
Costes de mantenimiento:	4 €/m <sup>3</sup> /año      0,1-48 €/m <sup>3</sup> /año

(\* En el caso de los pozos de material drenante con geotextil.



Construcción de sistemas con celdas (arriba) y cajas (abajo) reticulares en la Nueva Sede del BBVA en Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.



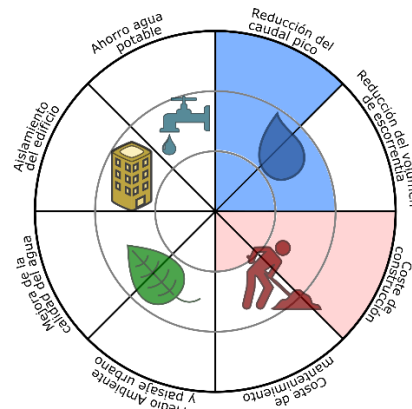
## CELDAS Y CAJAS RETICULARES

### DESCRIPCIÓN:

Las celdas y cajas son estructuras modulares reticulares de polipropileno con un alto índice de huecos, generalmente superior al 90 %, y una capacidad portante elevada. Las celdas son estructuras planas, mientras que las cajas son, en general, paralelepípedas.

Se utilizan para crear estructuras subterráneas (generalmente combinadas con gravas y geotextiles), que almacenan y, en su caso, transportan, la escorrentía una vez filtrada. Mientras que en las celdas la función primaria suele ser la de actuar de transporte plano, las cajas se emplean para conformar espacios de almacenamiento temporal.

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Bloques de plástico.
- 2.- Geotextil permeable.
- 3.- Gravas o material granular.
- 4.- Geotextil permeable.
- 5.- Infiltración cuando es posible.
- 6.- Pavimento permeable.
- 7.- Conducto de rebose.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Construcción de un depósito de infiltración con cajas reticulares en la Nueva Sede BBVA en Madrid.

Fuente: Ayto. de Madrid.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- El sistema tiene dos componentes básicas: 1) celdas o cajas, que ofrecen rigidez y resistencia a las cargas (diseño estructural); 2) geotextiles, con o sin geomembrana, que impide la entrada de terreno.
- Deben de tener el fondo lo más horizontal posible.
- Se aconseja el vaciado en las 48 h posteriores al evento de lluvia (a no ser que actúen como aljibe); e incluir un desagüe de emergencia.
- Los depósitos de detención necesitan un conducto de salida; mientras que para los depósitos de infiltración depende del valor de permeabilidad del terreno.
- Los depósitos de infiltración necesitan pretratamiento aguas arriba para evitar la colmatación (p. ej. separador hidrodinámico); mientras que los depósitos de detención deberían incorporar un volumen de almacenamiento adicional bajo la tubería de salida para tener en cuenta la acumulación de sedimentos.
- Si el depósito es de infiltración, se requiere 1 m de distancia desde la base del SUDS hasta el nivel freático; en cambio, si es de detención no hay distancia mínima, pero debe estar adecuadamente sellado y resuelto el problema de flotación.

### BENEFICIOS:

- Atenúan los caudales pico.
- Su estructura modular hace que se adapten fácilmente a las necesidades del lugar y que su transporte e instalación sea sencilla.
- Su capacidad estructural posibilita su implementación en áreas con presencia de vehículos ligeros.
- Pueden utilizarse donde el espacio es limitado.
- Promueve espacios multifuncionales, pues en su superficie se pueden incluir instalaciones de recreo.
- Los depósitos de infiltración contribuyen a la reducción de la escorrentía y la recarga de acuíferos.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Los propios de la superficie bajo la que se instalan (p. ej. retirada de hojas y sedimentos), mensualmente.
- Decenalmente, si es posible, eliminar los limos del depósito.
- En los sistemas en los que sea posible, realizar una inspección mediante cámaras, quinquenalmente, para detectar acumulación de sedimentos en el interior.
- Si es posible, eliminar los limos del fondo del depósito, decenalmente.

### LIMITACIONES:

- Necesita integrarse en una cadena de tratamiento, pues no tiene capacidad inherente de eliminar contaminantes.
- Dificultad en el mantenimiento por ser subterráneos, pues cualquier fallo o bloqueo no podrá ser detectado fácilmente.
- Alto coste de instalación comparado con el almacenamiento en superficie.
- Cuando se emplean para almacenar agua durante largos periodos de tiempo, debe garantizarse que el depósito no es dañado por raíces de árboles.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	Sí*
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	Sí*
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	No
Costes de construcción:	100 - 200 €/m <sup>3</sup>
Costes de mantenimiento:	0,8 €/m <sup>3</sup> /año    0,3-2,5€/m <sup>3</sup> /año

(\*) Cuando no se quiera infiltrar, con geomembrana y dren.



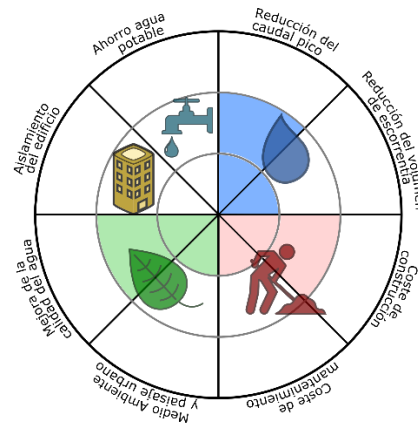
Dren filtrante en Madrid Río – Puente de la Princesa, en Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

## DRENES FILTRANTES

### DESCRIPCIÓN:

Los drenes filtrantes son zanjas rellenas de grava que, generalmente, tienen un dren perforado en la base. También pueden estar constituidas por celdas y cajas reticulares envueltas en geotextiles y material granular. Reciben la escorrentía proveniente de las áreas impermeables adyacentes por los laterales. Esta escorrentía se filtra y almacena temporalmente en las gravas o cajas, mientras es transportada aguas bajo del sistema por medio del dren.

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Sistema de pre-tratamiento.
- 2.- Flujo superficial.
- 3.- Ancho.
- 4.- Abertura de inspección visual.
- 5.- Gravitas finas.
- 6.- Gravitas gruesas.
- 7.- Tubería dren perforada.
- 8.- Infiltración si es posible.
- 9.- Filtro de geotextil.
- 10.- Profundidad de 1 a 2,5 m.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Dren filtrante en Madrid Río – Puente de la Princesa, en Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- La profundidad de la zanja es, habitualmente, de entre 1-2,5 m.
- La profundidad mínima de la capa de gravas debe ser 0,5 m para garantizar niveles razonables de eliminación de contaminantes.
- El ancho de la zanja depende del volumen de almacenamiento necesario y de las dimensiones del dren.
- La pendiente del dren debería estar entre 2-5 %.
- Las gravas (o cajas) están envueltas en geotextil para evitar la entrada de finos, y pueden necesitar la colocación de geomembranas si se quiere impedir totalmente la infiltración.
- Se debe instalar un geotextil a poca profundidad de las gravas que pueda ser retirado para limpiar las gravas superficiales, evitando así la colmatación del conjunto.
- Es aconsejable instalar una abertura de inspección visual fácilmente identificable.

### BENEFICIOS:

- Mejora la calidad, pues reducen los niveles de contaminación en la escorrentía, principalmente, mediante la filtración.
- Reducen el caudal pico.
- Sirve como medio de transporte de la escorrentía.
- Se pueden incorporar fácilmente en el paisaje urbano.
- Pueden diseñarse de forma creativa para crear bordes atractivos.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Eliminación de hojas y sedimentos, mensualmente.
- Se requieren inspecciones regulares para monitorear la acumulación de sedimentos y la obstrucción de la superficie filtrante.
- Cada 5 o 10 años, puede ser necesario rehabilitar las superficies de filtración (p. ej., retirando, lavando y reemplazando los 20 cm superiores de material granular y reemplazando la capa superior de geotextil).

### LIMITACIONES:

- La contaminación y colmatación de las gravas son difíciles de detectar si se producen en profundidad.
- Limitadas a aquellas zonas donde no se esperen grandes flujos de sedimentos.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	Sí*
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	Sí
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	Sí
Costes de construcción:	30 - 40 €/m <sup>3</sup>
Costes de mantenimiento:	0,9 €/m <sup>3</sup> /año    0,3-1,5€/m <sup>3</sup> /año

(\*) Cuando esté provisto de drenaje en la base.



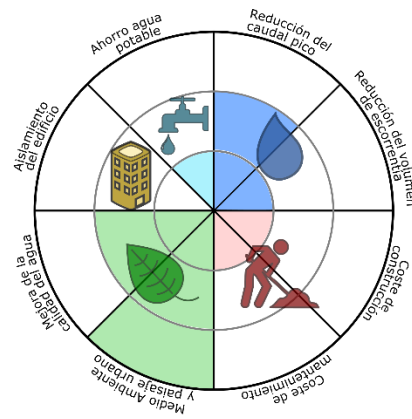
Cuneta vegetada en la Ronda Norte de Xàtiva (Valencia). Fuente: Green Blue Management.

## CUNETAS VEGETADAS

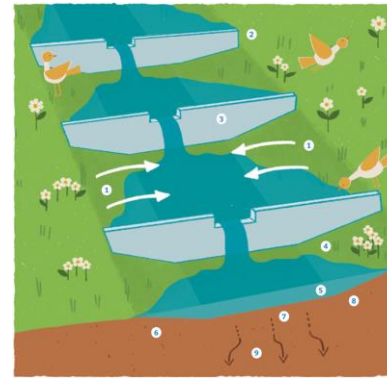
### DESCRIPCIÓN:

Las cunetas vegetadas son canales anchos, de poca profundidad y cubiertos de vegetación diseñados específicamente para captar, tratar y transportar la escorrentía. Con una pendiente tendida y la vegetación se consigue ralentizar la escorrentía, favoreciendo la sedimentación, la filtración, la infiltración y la eliminación de contaminantes; y evitar la erosión del cauce. Si no es posible, se incluyen elementos de contención transversal.

### VALORACIÓN:



### ESQUEMA:



- 1.- Escorrentía urbana.
- 2.- Máxima pendiente recomendada 5%.
- 3.- Terrazas intermedias cuando pendiente mayor que 5%.
- 4.- Altura de la hierba en torno a 15 cm.
- 5.- Forma trapezoidal.
- 6.- Altura para tratamiento del agua aproximadamente 2/3 de la altura de la hierba.
- 7.- Ancho máximo recomendado del canal 3 m.
- 8.- Pendiente lateral 3:1 como máximo (H:V).
- 9.- Infiltración si es posible.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

### EJEMPLO:



Cuneta vegetada en la Ronda Norte de Xàtiva (Valencia).  
Fuente: Green Blue Management.

### CRITERIOS DE DISEÑO:

- Generalmente tienen una sección trapezoidal o parabólica.
- La base de la cuneta puede estar entre 0,5-3 m.
- La pendiente longitudinal debe estar entre 0,5-5 %, pudiendo incorporar elementos de contención transversal (o terrazas) que permitan incluir cunetas hasta 10 %. Los drenes son necesarios para pendientes < 1,5 %, si no se cuenta con infiltración.
- Las pendientes laterales máximas son 3H:1V y, cuando sea posible, 4H:1V.
- Los elementos de contención transversal, generalmente, se instalan en intervalos de 10-20 m. Aguas abajo de estos elementos, se deben instalar disipadores de energía de 1-2 m de largo.
- Se necesita una tubería de desagüe o un aliviadero sobre el nivel de almacenamiento diseñado para transportar el caudal de rebose.
- La vegetación seleccionada debería ser autóctona para garantizar una cobertura densa y duradera. Debería adaptarse a inundaciones periódicas y sequías.

### BENEFICIOS:

- Ofrecen una importante función de pretratamiento, especialmente para la eliminación de sedimentos gruesos.
- Desconecta las áreas impermeables.
- Requieren bajo coste de instalación y un mínimo mantenimiento una vez instaladas.
- Pueden incluir una gran variedad de plantas que ayuda a contribuir a la biodiversidad local.
- Pueden ser diseñadas para encajar en diferentes tipos de paisajes, ofreciendo agradables y atractivos corredores vegetales.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Mantener la altura de vegetación entre 5 y 15 cm.
- Retirar mensualmente los sedimentos de la superficie de la cuneta.
- Reparación de la erosión producida en las estructuras de entrada y en la base de la cuneta, en su caso.
- Al cabo del tiempo (10 años), puede ser necesario restaurar la topografía de diseño y resembrar o replantar.

### LIMITACIONES:

- No son adecuadas para áreas llanas o con terrenos fácilmente erosionables.
- Tienden a demandar gran extensión de suelo debido a sus pendientes tendidas.
- No son muy eficaces en la eliminación de contaminantes disueltos y bacterias.
- Posible resuspensión de los sedimentos.
- Sólo son efectivas si están cerca del área impermeable.
- No deben ser localizadas bajo árboles cuyas hojas puedan reducir su efectividad.

### CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	Sí
Apto en suelos impermeables:	Sí
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático elevado (<1 m):	Sí
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	Sí
Costes de construcción:	15 - 25 €/m <sup>2</sup>
Costes de mantenimiento:	0,1 €/m <sup>2</sup> /año    0,03-0,16€/m <sup>2</sup> /año



Instalaciones de válvulas de vórtice. Fuente: HidroStank. y Drenatura

## ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS

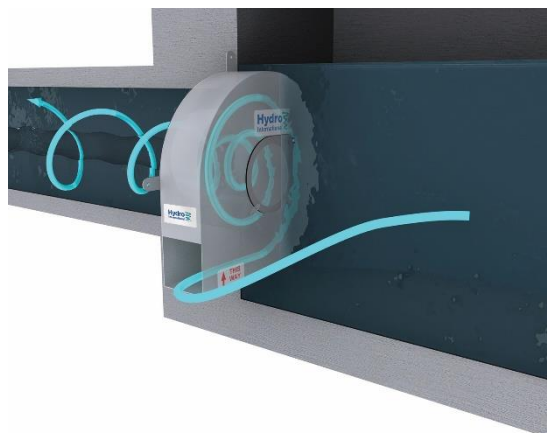
### VÁLVULA DE VÓRTICE

Las válvulas de vórtice son un dispositivo que regulan el caudal en función de la lámina de agua, exclusivamente por efectos hidrodinámicos. Están diseñadas para permitir el flujo de agua sin restricciones durante el mayor tiempo posible (caudales bajos). Sin embargo, cuando aguas arriba la lámina de agua crece hasta una altura determinada (periodo de inundación), el aire es atrapado creando un vórtice. Este vórtice convierte la energía potencial del agua en rotación, desacelera el agua y limita la descarga. Cuando la lámina de agua disminuye, se vuelve a la descarga sin restricciones (caudales bajos).

#### BENEFICIOS:

- Controla el almacenamiento de las aguas de lluvia y su descarga.
- Requieren menor volumen de almacenamiento aguas arriba, disminuyendo los costes de excavación y ocupación de suelo.
- Tiene una gran superficie de paso y no tiene piezas móviles ni necesita energía auxiliar, por lo que ofrecen una elevada seguridad de servicio.
- Si se produce un bloqueo, será fácil y rápido de detectar al producirse en el exterior.

#### EJEMPLO:



Esquema Hydro-Brake® Optimum. Fuente: Hydro International

### SEPARADORES HIDRODINÁMICOS

Los separadores hidrodinámicos son dispositivos que pueden eliminar sólidos sedimentables, residuos flotantes, grasas e hidrocarburos presentes en la escorrentía. Mediante una separación hidrodinámica por vórtice, los sedimentos se depositan en el fondo (debido al aumento del tiempo de residencia, pues el recorrido elíptico que realiza el agua desde que entra hasta que sale es mucho mayor al de una arqueta convencional); y los residuos flotantes, grasas e hidrocarburos ascienden a la superficie por suspensión. Este dispositivo se instala en un pozo, normalmente de hormigón prefabricado.

#### BENEFICIOS:

- Mejora la calidad del agua de escorrentía.
- Útiles en lugares con restricción de espacio, pues son estructuras subterráneas y consumen poco espacio.
- Su empleo reduce las labores de mantenimiento y la vida útil (previenen la colmatación) de las técnicas SUDS de aguas abajo, aunque requiere un mantenimiento propio específico y frecuente
- No requieren de energía externa.
- Apropriados como pretratamiento de celdas y cajas reticulares.

#### EJEMPLO:



Esquema Downstream Defender®. Fuente: Hydro International

### FILTROS COMPACTOS

Los filtros compactos son dispositivos que eliminan los contaminantes presentes en la escorrentía mediante tecnologías de filtración, como la del lecho fluido. La escorrentía se dirige a la cámara por una tubería; conforme ésta se llena, el flujo asciende y atraviesa las mallas inclinadas y los módulos de filtrado. En este proceso, los sólidos gruesos y los sedimentos precipitan en la base de la cámara, mientras que los aceites y flotantes ascienden a la superficie. Cuenta con un sifón-bypass con deflector de flotantes para el caudal excedente. El agua tratada es evacuada por el módulo exterior y la tubería de salida.

#### BENEFICIOS:

- Elevado rendimiento en la mejora la calidad de la escorrentía.
- Se adaptan fácilmente al ámbito de aplicación, pues son compactos y subterráneos.
- Aptos en zonas industriales y comerciales, con presencia de hidrocarburos y sedimentos.
- Fácil instalación y mantenimiento (aunque costoso).

#### EJEMPLO:



Esquema Up-Flo™ Filter. Fuente: Hydro International



Reunión de trabajo de un equipo multidisciplinar. Fuente: Ayto. de Madrid.



## 5. PROCESO DE DISEÑO

Desde las fases iniciales de conceptualización del proyecto se debe considerar cómo se va a realizar la gestión de las aguas pluviales, priorizando el empleo de SUDS, con el fin de que su implementación posterior sea más sencilla, pues, como cualquier otra infraestructura, debe adecuarse a las condiciones del lugar y responder a las necesidades por las que se diseña. En este aspecto, antes de comenzar este proceso de diseño de los elementos de gestión de la escorrentía, deberá tenerse claro el diseño de espacio público que se quiere en cuanto a usos, superficie verde disponible, densidad de tránsito, etc.

Así, este capítulo recoge un proceso de diseño que facilita la inclusión de los SUDS desde el inicio de los proyectos, tanto de nueva urbanización como de regeneración urbana. Como se resume en la Figura 2, el proceso de diseño se compone, principalmente, de cinco pasos. Con ellos se busca garantizar la gestión sostenible del agua pluvial y, además, introducir valor al proyecto.

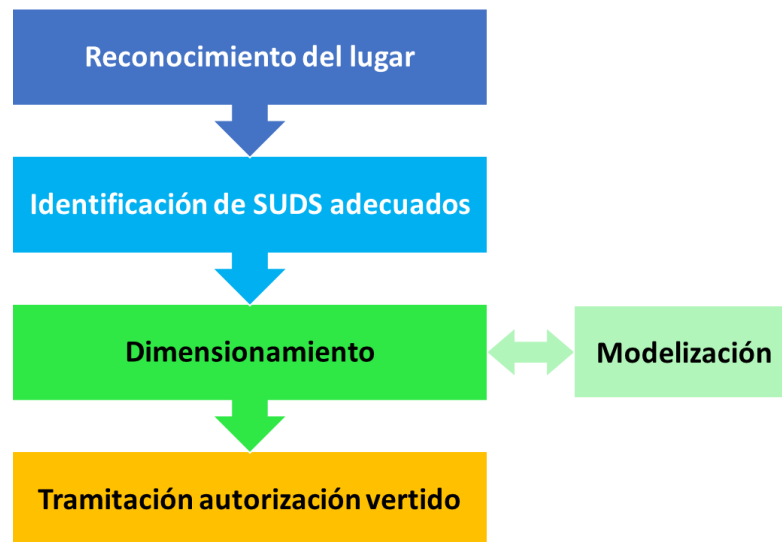


Figura 2. Esquema del proceso de diseño.

Es importante clarificar que, aunque el proceso de diseño se ha representado en un gráfico lineal, en la práctica, suele haber iteraciones entre diferentes pasos hasta que se alcanzan los objetivos del proyecto.

### 5.1 Reconocimiento del lugar

No todas las técnicas SUDS son adecuadas para todos los lugares y, por ello, es importante que las oportunidades y las restricciones sean identificadas en las primeras fases del proceso de diseño.

Por ello, el proceso de diseño comienza con un profundo reconocimiento del lugar, pues tiene implicaciones directas en los objetivos de diseño, la selección del tipo de SUDS, el emplazamiento y la integración con el entorno.

Para completar satisfactoriamente este paso puede ser útil visitar la zona de estudio durante un episodio de lluvia y tomar fotografías.

Dependiendo de la complejidad de la zona de estudio, será necesario o no recurrir a un equipo de expertos para realizar la evaluación de alguno de los aspectos que se enumeran a continuación.

#### 5.1.1 Topografía

La topografía es un factor clave para comprender los patrones naturales de drenaje de la zona de estudio. En ocasiones, un adecuado análisis de la topografía permite diseños por gravedad, evitando bombeos o infraestructuras adicionales.

Para ello, se requiere de una cartografía adecuada y, preferiblemente, de un Modelo Digital del Terreno (MDT). Éste puede ser elaborado a partir de un levantamiento topográfico del área de proyecto, donde es aconsejable que se acoten los elementos característicos de la red de drenaje (como pueden ser embalsamientos naturales o depresiones, elementos de restricción de flujo, entre otros) y del viario adyacente (en su caso pendiente del viario, cota baja y alta del bordillo, etc.).

En caso de no disponer de un MDT, puede utilizarse, en primer lugar, la cartografía municipal por distritos a escala 1:1.000 del Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid. Esta información está disponible en [formato SHP](#), proyección ETRS89; sin embargo, para consultar el formato dwg, será necesario personarse en el [Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible](#). En segundo lugar, se podría emplear el MDT que pone a disposición pública el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional de España. En ambos casos, podrían ser necesarias operaciones básicas de tratamiento de datos mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), a evaluar por el proyectista.

Las áreas con pendientes muy abruptas no son las más adecuadas para el transporte, pues pueden generar problemas de erosión; ni para el almacenamiento, pues requieren de terrazas o elementos adicionales. Por otro lado, las zonas deprimidas son áreas de acumulación natural de agua y pueden ser buenos lugares para albergar el almacenamiento de agua. Por estos motivos, podría ser útil realizar un mapa de pendientes a partir del MDT y grafiar por zonas de pendientes bajas, medias y altas.

Por último, es conveniente identificar particularidades de la zona de estudio, como puede ser la presencia de terrazas.

### 5.1.2 Geología y geotecnia

La geología y geotecnia del lugar afectan directamente en la selección de los objetivos de diseño del proyecto, pues determinan la capacidad de infiltración y de protección de los acuíferos. En consecuencia, se deben identificar los principales materiales presentes en el corte geológico de la zona de estudio y la información referente a la permeabilidad del terreno. Se ha de prestar especial atención a la presencia y la distancia de estratos con materiales limitantes, como son las arcillas expansivas, el yeso o la roca. Para ello, puede ser de utilidad consultar la web del Instituto Geológico y Minero de España, ([IGME](#)).

Se debe conocer la distancia al nivel freático y, si es el caso, su variabilidad estacional. También se requiere estudiar la estabilidad del terreno y la posibilidad de afectar estructuras adyacentes si se diseña el SUDS contando con infiltración.

El parámetro clave en este apartado es determinar el valor de permeabilidad del suelo. Por ello, de acuerdo a la fase en el que el proyectista/usuario de la guía se encuentre, se establecen los siguientes niveles:

- Para tener una idea previa orientativa de si un determinado tipo de terreno es susceptible de plantear infiltración se proporciona la Tabla 1.
- En fase de anteproyecto, se permite interpolar y obtener un valor de referencia en base a la literatura y la información de ensayos realizados en diferentes zonas de Madrid, mostrados en el Anexo nº 1.
- En fase de proyecto, se debe realizar el ensayo de permeabilidad en zanja según el procedimiento descrito en el Anexo nº 2. A efectos del ámbito de aplicación, el factor mínimo de seguridad que ha de aplicarse al valor de permeabilidad obtenido en campo es 1,5, obteniendo con ello el valor de cálculo del coeficiente de permeabilidad (k).

Tabla 1. Valores orientativos del coeficiente de permeabilidad para diferentes suelos.

Fuente: Elaboración propia

Permeabilidad k (m/s)										
Muy bueno	Bueno			Pobre	Muy pobre					
>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>
GRAVAS	ARENAS Y MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA			LIMOS Y MEZCLAS DE ARENA, LIMO Y ARCILLA	LIMO ARCILLOSO, ARCILLA LIMOSA Y ARCILLAS					

### 5.1.3 Hidrología

El diseño propuesto debería reproducir, en la medida de lo posible, los patrones naturales de drenaje. Para ello, es necesario elaborar un análisis hidromorfométrico. En caso de que la zona de estudio se enmarque en un proyecto de urbanización, las condiciones hidrológicas del nuevo desarrollo también tienen que estudiarse.

Para ello, se deben delimitar las cuencas drenantes a la zona de estudio y calcular sus parámetros característicos (área, cauce principal, longitud, pendiente, etc.), siendo aconsejable emplear el MDT obtenido anteriormente y herramientas SIG. Es conveniente ampliar los límites del análisis, de modo que sean superiores a la zona de estudio y obtener así las cuencas drenantes completas.

Los puntos de descarga de las cuencas y las áreas aguas abajo de los mismos han de ser inventariados, así como los requisitos de calidad y cantidad de la cuenca, si los hubiera. Además, se deben señalar los posibles puntos de descarga de los SUDS a cauces o arroyos, la distancia hasta los mismos y las posibles restricciones y condiciones de vertido de la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT).

Por último, cabría definir las zonas inundables en el área de estudio. En este paso es aconsejable consultar el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables ([SNCZI](#)). Si en este paso se identifican zonas inundables dentro del área de estudio, se deberá consultar al Ayuntamiento de Madrid para determinar las medidas necesarias a adoptar.

### 5.1.3.1 Selección del coeficiente de escorrentía

De los diferentes modelos de producción de escorrentía superficial, se ha seleccionado el método de coeficiente de escorrentía por ser el más sencillo.

Para aplicar este método en el contexto de esta guía, el coeficiente de escorrentía C debe ser seleccionado por el usuario utilizando la Tabla 2.

Tabla 2. Coeficiente de escorrentía.

Zona	C
Ajardinada	0,3
Pavimentada permeable	0,7
Pavimentada impermeable	0,9
Cubiertas	1,0

Por lo tanto, el área impermeable a gestionar por el SUDS será:

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

Donde:

$A_{imp}$  = Área impermeable a gestionar por el SUDS (m<sup>2</sup>)

$n$  = Número de sub-áreas

$C_i$  = Coeficiente de escorrentía de la sub-área  $i$  (adimensional)

$A_i$  = Superficie de la sub-área  $i$  (m<sup>2</sup>)

### 5.1.4 Pluviometría

La metodología que propone esta guía para dimensionar los SUDS es la conocida como *Small Storm Hydrology*, la cual asume que el tratamiento y la detención prolongada de los eventos pequeños y frecuentes se traduce en una reducción de los impactos de la escorrentía. Para obtener los parámetros básicos de dicha metodología es necesario un estudio pluviométrico y, para esta guía, se utiliza de referencia Sordo-Ward et al. (pp2019), que los calcula estos volúmenes a partir de los episodios identificados de la

serie 10-minutal de un registro de 10 años de la estación Madrid-Retiro (umbral = 0 mm, tiempo entre eventos de 24 horas).

Para relacionar el objetivo de diseño (descrito en el apartado 3) con el dimensionamiento de los SUDS, se utilizan las reglas de diseño basadas en percentiles de la serie de precipitaciones del año medio. A efectos de esta guía, el valor más relevante es el volumen establecido como necesario para producir una laminación de los caudales vertidos a la red. El estudio detallado de la pluviometría de Madrid ha permitido relacionar dicho volumen con el denominado volumen de cantidad (empleado para reducir la cantidad de escorrentía vertida al medio receptor final). Así, éste representa el valor de precipitación de lluvia tal que el 80 % de los eventos anuales tiene una precipitación menor o igual a ese valor ( $V_{80}$ ). Para el ámbito de aplicación de la presente guía, se empleará el valor de:

$$V_{80} = 15 \text{ mm} = 15 \text{ l/m}^2$$

En este caso, lo que hace el sistema es tratar totalmente la escorrentía generada por el 80% de los eventos de la serie anual, tratando parcialmente la escorrentía del 20 % de eventos restantes. Como queda reflejado posteriormente en la Tabla 3, almacenar temporalmente este volumen permite al mismo tiempo laminar los caudales pico, lo que repercute en una mejora del funcionamiento del sistema de alcantarillado municipal. Cuando la permeabilidad del terreno lo permita, el agua almacenada se evacuará por infiltración, cumpliendo de este modo el criterio de reducción de escorrentía.

Otro valor importante es el **volumen de calidad**, que es el volumen necesario de escorrentía a gestionar para reducir la carga de contaminantes vertida al medio receptor, y suele corresponder a la lluvia del percentil del 90 % ( $V_{90}$ ). Con el objetivo de simplificar los cálculos en esta guía básica, y siguiendo referencias internacionales (Atlanta Regional Commission, 2016), para el ámbito de aplicación de la guía se supone que esta condición se cumple al tratar por filtración (siguiendo las especificaciones marcadas en el apdo. 5.2.2), la escorrentía generada por el  $V_{80}$ .

Además, se incluyen en esta guía valores de volúmenes de otros percentiles que pudiera requerir el usuario durante el proceso diseño (para la obtención de certificaciones, por ejemplo):

$$V_{50} = 4 \text{ mm}$$

$$V_{85} = 19 \text{ mm}$$

$$V_{90} = 23 \text{ mm}$$

$$V_{95} = 34 \text{ mm}$$

$$V_{98} = 47 \text{ mm}$$

Adicionalmente, el sistema de drenaje propuesto debe ser capaz de proporcionar la protección requerida sin producir inundaciones locales. En los casos en los que se requiera una modelización del sistema propuesto (apartado 5.3.5), se comprobará que el conjunto de técnicas de captación, transporte, almacenamiento, evacuación y rebose, gestiona adecuadamente las lluvias de diseño que en su caso establezca el Ayuntamiento de Madrid. A falta de otra indicación, se emplearán hietogramas rectangulares para diferentes duraciones e intensidades medias máximas (uniformes a lo largo de la duración del evento). Estas lluvias de diseño se construirán a partir de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que para el período de retorno de 10 años se presenta en el estudio pluviométrico realizado por AEMET (2003), y que se resume en la Tabla 3.

Tabla 3. Curva IDF para T = 10 años. Fuente: AEMET (2003) - Estación Madrid Retiro (3196).

Intervalo (min)	5	10	15	20	30	60	120	180	360	720
Intensidad (mm/h)	87	65	55	48	38	22,2	13	9,4	5,9	3,6
Precipitac. (mm)	7	11	14	16	19	22	26	28	35	43

Para pequeñas actuaciones de gestión sostenible de las aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios públicos del ámbito de aplicación de esta guía, será suficiente con calcular la estructura y conductos del rebose proveniente de los elementos de almacenamiento para el hietograma de periodo de retorno 10 años y 20 min de duración, cuya intensidad es  $i_{T10,20'} = 48 \text{ mm/h} = 133,3 \text{ l/s/ha}$ , ya que eventos de mayor intensidad y menor duración producen un volumen de precipitación menor al  $V_{80}$ , que queda almacenado en los SUDS.

Para los casos recogidos en el apartado 5.3.5, en los que se requiera una modelización del sistema propuesto, es recomendable utilizar además la pluviometría de un año tipo para comprobar que se gestiona un alto porcentaje de lluvia (en general superior al 80%). El Ayuntamiento de Madrid establecerá en cada caso el registro de lluvia a emplear (serie 10-minutal).

El Ayuntamiento de Madrid podrá solicitar la necesidad de adaptar el diseño al cambio climático mediante la modificación de los datos de pluviometría.

### 5.1.5 Contaminación

Para controlar y garantizar la calidad de la escorrentía es necesario conocer las diferentes fuentes de contaminación (el agua de lluvia arrastrará menos contaminantes a su paso por un tejado que el agua que discurre por un viario con mucho tráfico), pues influirá en la selección de la técnica SUDS y en su diseño (por ejemplo, el espesor de la capa de sustrato del jardín de lluvia). La necesidad de tratamiento también vendrá condicionada por las características del medio receptor.

Se pondrá especial atención en la detección y aislamiento hidráulico de zonas con alto potencial contaminante, por ejemplo, zonas de recarga de combustible. Con ello se previene, en la medida de lo posible, que estas zonas entren en contacto con la escorrentía; o bien, que las fuentes se circunscriban a un área limitada y, en consecuencia, se consideren las técnicas de tratamiento apropiadas.

También será importante detectar la contaminación que pueda estar presente en los suelos previamente a la actuación, y decidir si se debe impedir la infiltración de la escorrentía para evitar la movilización de los contaminantes.

### 5.1.6 Vegetación

Conocer la vegetación autóctona en la zona de estudio permite su integración en el diseño y ofrecer un hábitat para una gran variedad de especies animales. En consecuencia, ha de elaborarse un inventario de las especies presentes y, aunque no estén presentes, también de las autóctonas. Además, se deben identificar las especies invasoras.

Los SUDS almacenan y tratan los contaminantes presentes en la escorrentía en parte mediante procesos biológicos que ocurren en las especies vegetales y el terreno. Los procesos microbianos, especialmente los que se llevan a cabo en las raíces, descomponen los compuestos volátiles de los contaminantes y los convierten en inertes. Por ello, cuando se prevea un riesgo de contaminación medio o alto de las escorrentías, se priorizará el uso de aquellas especies autóctonas con un alto grado de eliminación de contaminantes, evitando el empleo de especies invasoras, aun cuando estén ampliamente extendidas en el área de estudio.

En esta fase puede ser de utilidad consultar la [Guía del jardín sostenible. Mucho más que un jardín](#) y [Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid](#) del Ayuntamiento de Madrid.

### 5.1.7 Desarrollo urbano actual

En los proyectos de regeneración urbana, será necesario obtener información detallada de la infraestructura existente. Para ello, es necesario identificar: edificios y su cimentación, áreas de estacionamiento, carreteras, áreas ajardinadas, tanques de tormenta, infraestructuras, instalaciones, servicios subterráneos (metro, electricidad, gas, telefonía...), y cualquier otro elemento que pueda influir en el diseño del SUDS.

También se requiere el mapeo de todas las zonas sensibles y de uso restringido en el lugar, ya que estas áreas pueden estar bajo el control de alguna institución (por ejemplo, vías pecuarias).

### 5.1.8 Punto de vertido

Se requiere localizar y conocer las características del punto de vertido del sistema de drenaje, que puede ser un cauce público, o en su defecto, la red de saneamiento municipal, y ponerse en contacto con la institución competente, según se detalla en el apartado 5.4.

### 5.1.9 Valor económico, ecológico y cultural

La instalación SUDS debe proteger y mejorar los valores económicos, ecológicos y culturales del entorno local y receptor. Estos valores forman la base de lo que los ciudadanos esperan en términos de su interacción y disfrute. En consecuencia, determinan los factores que serán barreras o alicientes para seleccionar el SUDS más adecuado.

Algunos ejemplos de cómo identificar valores en la zona de estudio son:

- **Valor económico:** evaluar un aumento del valor de la propiedad; proteger propiedades y/o infraestructuras de inundaciones; beneficios económicos al utilizar el agua pluvial como un recurso (para riego de las zonas verdes, por ejemplo); mejora del turismo; etc.
- **Valor ecológico:** comprobar si la zona de estudio es parte de un corredor ecológico; valorar la representación, peculiaridades, calidad y diversidad del hábitat; identificar si existen elementos que mejoren la calidad del vecindario; evaluar el impacto de una sequía; etc.

- **Valor cultural:** identificar conexiones con el vecindario, como puede ser lugares, paisajes o elementos de valor patrimonial; reconocer elementos que reducen la percepción ante el riesgo de inundación; pulsar la sensibilización ante insectos, como el mosquito tigre; evaluar la presencia de instalaciones de aparcamientos o áreas de picnic; detectar el aprecio estético por el lugar, tanto natural como antropizado, así como su integración en el paisaje; identificar rutas, edificios e infraestructuras históricas, como pueden ser vías pecuarias o ventas; reconocer áreas con valores educativos; etc.

Si el proyecto se emplaza en un área de interés arqueológico, se debe estudiar la afectación que podría tener la infiltración del agua captada y almacenada en los SUDS en dicha área.

## 5.2 Selección de SUDS

Para seleccionar qué tipología de SUDS es más adecuada acorde a los condicionantes del lugar, se debe comprobar la viabilidad de la infiltración, los contaminantes presentes y las restricciones para implementar cada técnica.

### 5.2.1 Viabilidad de la infiltración

Como se describe en el capítulo 3, se debe almacenar e infiltrar en origen tanta escorrentía como las condiciones del lugar lo permitan. De modo que, para satisfacer este objetivo, se debe evaluar si los factores obtenidos en el apartado 5.1 entran en el rango de valores aceptables de la Tabla 4.

Tabla 4. Valores aceptables para considerar la infiltración en el diseño.

Factor	Valor aceptable
Valor del coeficiente de permeabilidad de cálculo	$> 10^{-6}$ m/s
Distancia al nivel freático	$> 1$ m
Distancia a cimientos	$> 3$ m*

\* Excepto para los pavimentos permeables que sólo captan agua superficial de acera, en cuyo caso podrá disminuir hasta 1,2 m cumpliendo la Ordenanza de Uso Eficiente del Agua.

Además, se debe evaluar el riesgo de inestabilidad del terreno, hundimiento o erosión; el riesgo de pendientes inestables; el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por la movilización de contaminantes en el terreno existente; el riesgo de infiltrar contaminantes procedentes de la escorrentía al terreno y/o aguas subterráneas; y el riesgo que la infiltración puede suponer en cimientos, túneles y otras infraestructuras (en general, superficies de infiltración someras y amplias, en las que se permite la evaporación, no generan mayor riesgo que una zona cespitosa convencional).

Actualmente, el Ayuntamiento de Madrid está recabando datos de calidad de agua de diversas experiencias en aparcamientos en la ciudad de Madrid. Con esta información contrastará los criterios de selección de SUDS empleados en otros países. Por ello, los usuarios de esta versión de la guía, deberán diseñar los aparcamientos de pavimento permeable sin infiltración y con evacuación a otro elemento de drenaje del agua previamente filtrada y laminada.

### 5.2.2 Evaluación de los contaminantes

Las zonas verdes y otros espacios públicos de Madrid pueden estar expuestos a diferentes fuentes de contaminantes, siendo la previsiblemente más contaminante la derivada de la presencia ocasional de vehículos ligeros dentro de la cuenca drenante. En este caso, las técnicas empleadas deben ser capaces de reducir dicha contaminación, entre otros mecanismos, por filtración. Para el caso simplificado objeto de esta guía, la técnica que vaya a gestionar el volumen de cantidad ( $V_{80}$ ), deberá contener, al menos, uno de los siguientes elementos:

- Tierra de aportación con buena capacidad de eliminación de contaminantes de, al menos, 300 mm de espesor.
- Una capa de al menos 300 mm de material granular bien graduado.
- Una capa de al menos 200 mm de gravas uniforme envuelta en un geotextil (ver Anexo nº 4 para determinar sus características).

Para otras fuentes de contaminantes cuya incidencia pueda alterar considerablemente el medio receptor, se precisa de un estudio detallado que evalúe su influencia con respecto a la técnica SUDS y el diseño propuesto.

### 5.2.3 Idoneidad del SUDS

Cada técnica SUDS necesita unas condiciones determinadas del lugar para que su funcionamiento y efectividad sean adecuados.

En esta guía, para seleccionar qué SUDS se adapta mejor a las condiciones del proyecto, se proporciona una serie de parámetros orientativos, mostrados en la Tabla 5. En cualquier caso, es responsabilidad del usuario seleccionar la técnica más conveniente, siempre y cuando esté correctamente justificada.

Tabla 5. Características del lugar adecuadas para implementar los SUDS.

SUDS	Pendiente del suelo (%)	Espacio <sup>(1)</sup> $\frac{A_{SUDS}}{A_{imp}}$ (%)
Cubiertas vegetadas	< 25 <sup>(2)</sup>	50 - 80
Aljibes	-	-
Pavimentos permeables	< 3 <sup>(3)</sup>	33 - 100 <sup>(4)</sup>
Alcorques estructurales	-	-
Jardines de lluvia	< 10	3 - 30
Pozos de infiltración	< 6	No aplica*
Zanjas de infiltración	2 - 5 <sup>(5)</sup>	5 - 10
Celdas y cajas reticulares	< 15	No aplica*
Drenes filtrantes	< 2	5 - 10
Cunetas vegetadas	0,5 - 6 <sup>(6)</sup>	10 - 20

<sup>(1)</sup>  $A_{SUDS}$  = Área en planta del SUDS;  $A_{imp}$  = Área impermeable

<sup>(2)</sup> Pendiente de la cubierta. Para < 5 % necesita dren para evitar encharcamientos.

<sup>(3)</sup> Para > 3%, la base necesita aterrazamiento (ver Figura 3), permitiendo máx. 10 %.

<sup>(4)</sup> Relación 2:1 (impermeable: permeable)

<sup>(5)</sup> > 5% necesita aterrazamiento.

<sup>(6)</sup> > 6% necesita elemento de contención transversal, permitiendo máx. 15 %.

(\*) No aplica porque es subterráneo y no compromete espacio superficial.

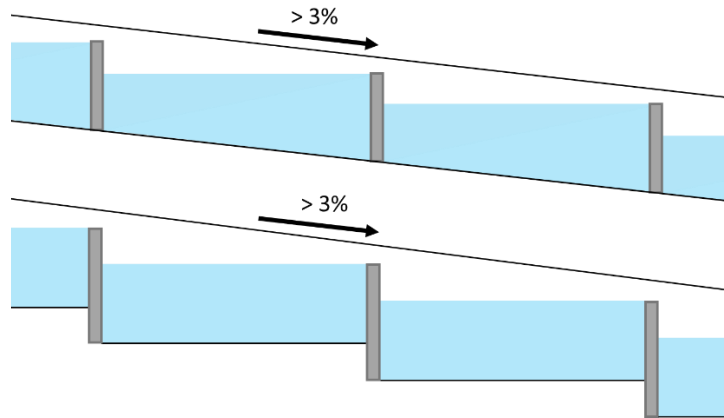


Figura 3. Ejemplo de cómo aterrizar la base del pavimento permeable.

### 5.3 Dimensionamiento

El objetivo de este apartado es hacer posible de manera sencilla el dimensionamiento de pequeñas actuaciones de gestión sostenible de las aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios públicos (a partir de la aplicación de diferentes suposiciones).

Será necesario acordar con el Ayuntamiento de Madrid, y en su caso con la Confederación Hidrográfica del Tajo, los criterios y parámetros a emplear para actuaciones de mayor envergadura o en otros ámbitos, especialmente si se prevé un riesgo de contaminación de las aguas de escorrentía de nivel medio o alto (por ejemplo, en zonas peatonales comerciales o viarios urbanos). En estos casos más complejos, en los que se requerirá realizar algún tipo de modelización hidrológico-hidráulica, se podrán seguir los pasos establecidos a continuación a modo de pre-dimensionamiento.

Se podrá comenzar el dimensionamiento del SUDS cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1. Se hayan minimizado las superficies impermeables y establecido el nivel de prioridad, siguiendo el esquema de la Figura 1.
2. Se conozca el área impermeable drenante a gestionar por el SUDS ( $A_{imp}$ ).
3. Se haya decidido qué técnica SUDS se pretende dimensionar.

El proceso de dimensionamiento propuesto es el mostrado en la Figura 4, que está explicado en detalle a continuación. Podrá seguirse otro procedimiento siempre que se acompañe de la justificación apropiada y sea aceptado por la entidad competente.

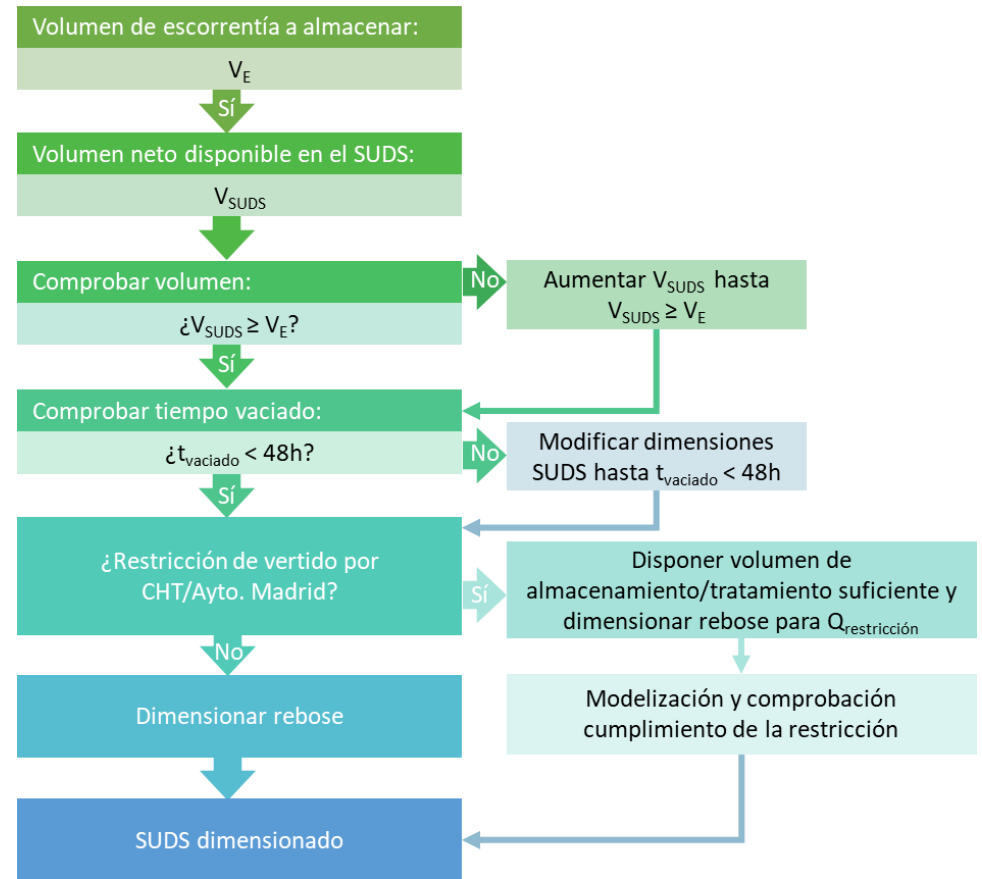


Figura 4. Esquema-resumen de dimensionamiento.

Además, de forma complementaria a este guía, se han introducido los cálculos presentes en este apartado en una hoja de cálculo disponible para el usuario en la página web del Ayuntamiento de Madrid.

### 5.3.1 Cálculo del volumen de almacenamiento

Con independencia del nivel de prioridad (infiltración, vertido a cauce o vertido a sistema de alcantarillado municipal), será necesario almacenar temporalmente, al menos, la esorrentía generada por el volumen de lluvia que no es superado por el 80 % de los eventos de precipitación ( $V_{80}$ ), cuyo valor para la ciudad de Madrid se presenta en el apartado 5.1.4. Dicho volumen ( $V_E$ ) puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$V_E = A_{imp} \cdot \frac{V_{80}}{10^3} \quad (1)$$

Donde:

$V_E$  = Volumen de esorrentía a almacenar en origen ( $m^3$ )

$A_{imp}$  = Área impermeable ( $m^2$ )

$V_{80}$  = Volumen de lluvia de percentil 80% para garantizar cantidad (mm)

### 5.3.2 Cálculo del volumen neto disponible en el SUDS

Tras una primera estimación de la superficie y la profundidad disponible para la construcción del elemento de almacenamiento temporal, considerando las restricciones de espacio del lugar, debe estimarse el volumen de almacenamiento en el SUDS ( $V_{SUDS}$ ), para lo que puede emplearse la siguiente fórmula:

$$V_{SUDS} = \sum_{i=1}^m A_{b,i} \cdot h_i \cdot n_i \quad (2)$$

Donde:

$m$  = Número de capas diferentes

$n_i$  = Porosidad de la capa  $i$  (adimensional)

- \* Superficial sin relleno (vol. huecos = vol. total): aplicar  $n = 1,0$
- \* *Gravas*: utilizar  $n = 0,3$  si no se dispone de un valor específico.
- \* *Celdas y cajas reticulares*: emplear  $n = 0,9$  o lo indicado por el distribuidor, en su caso.

$A_{b,i}$  = Área de la base de la capa  $i$  ( $m^2$ )

$h_i$  = Profundidad de la capa  $i$  (m)

- \* Habitualmente, la altura de la lámina de agua superficial es  $\leq 0,3$  m.
- \* Si la altura de la lámina de agua superficial es  $> 0,3$  m, entonces es necesario escalonar los laterales (según se muestra en la Figura 5) y tomar las medidas de seguridad oportunas.

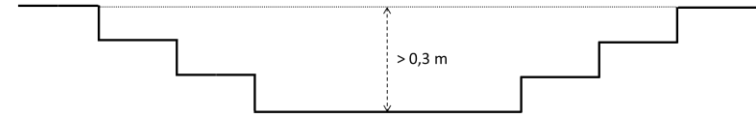


Figura 5. Ejemplo de escalonamiento de los laterales.

- \* Si altura de la lámina de agua superficial es  $> 0,5$  m, entonces es necesario pedir autorización al Ayuntamiento de Madrid.
- \* Es aconsejable que la altura de la lámina de agua en una estructura enterrada no supere 1,5 m.

**Ejemplo.** Si se considera constante la sección transversal de la Figura 6, el volumen neto disponible se calcularía (de forma simplificada) como:

$$V_{SUDS} = [h_1 \cdot e_T \cdot 1 + h_2 \cdot e_T \cdot 0,3 + (e_1 + e_3) \cdot h_3 \cdot 0,3 + h_3 \cdot e_2 \cdot 0,9 + h_4 \cdot e_T \cdot 0,3] \cdot L_2$$

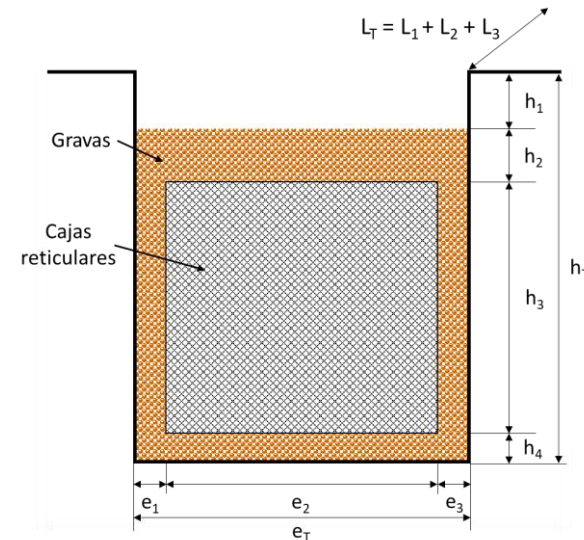


Figura 6. Ejemplo de sección transversal.



En la Figura 6, si el material presente en la sección es homogéneo, la longitud  $L_2$  corresponde a la longitud total de la zanja ( $L_T$ ). En cambio, si cuenta con materiales con diferentes porosidades, la longitud  $L_2$  correspondería al elemento de mayor porosidad. Por ejemplo, si fuera una solución mixta con cajas reticulares y gravas,  $L$  sería la longitud total de las cajas, y el volumen calculado sería menor al real (del lado de la seguridad).

### 5.3.3 Comprobación de la capacidad de almacenamiento

Tras un primer tanteo, comenzará un proceso iterativo conducente a la comprobación de que el SUDS propuesto cuenta con un volumen neto disponible tal que es suficiente para almacenar temporalmente, al menos, el volumen de escorrentía generado por  $V_{80}$ .

De este modo, si se verifica que  $V_{SUDS} \geq V_{generado}$  entonces se puede avanzar al siguiente paso; en caso contrario, aumentar el  $V_{SUDS}$  hasta que  $V_{SUDS} \geq V_{generado}$ .

### 5.3.4 Comprobación del tiempo de vaciado

Con el objetivo de que el volumen de almacenamiento del SUDS esté disponible para lluvias sucesivas, es recomendable que el período de vaciado completo no supere las 48 h.

Si tras evaluar los condicionantes presentados en el apartado 5.2.1 se concluye que es seguro infiltrar en la zona de estudio, y el coeficiente de permeabilidad de cálculo del terreno es superior a  $10^{-6}$  m/s, entonces el vaciado del volumen del SUDS se realizará por infiltración.

Si el coeficiente de permeabilidad  $k > 10^{-4}$  m/s, o la altura de la lámina de agua es inferior a 0,5 m, no es necesario comprobar el tiempo de vaciado del SUDS y sería posible avanzar hacia al siguiente paso (apartado 5.3.5). Sin embargo, si  $k < 10^{-4}$  m/s y  $h > 0,5$  m, entonces se debe comprobar si el SUDS se vacía en menos de 48 h. Para ello, se considera el vaciado tanto por la base como por los laterales de la capa con mayor volumen de almacenamiento de agua, mediante la siguiente fórmula:

$$t_{vaciado} = \frac{n \cdot A_b}{k \cdot P} \left[ \frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right] \quad (3)$$

Donde:

$t_{vaciado}$  = Tiempo de vaciado (h)

$n$  = Porosidad de la capa con mayor volumen de almacenamiento útil.  
Por ejemplo, en la Figura 6 se emplearía el índice de huecos de las cajas que indicase el fabricante.

$A_b$  = Área de la base (m). Siguiendo el ejemplo de la Figura 6 y siguiendo  $L_T$  la longitud total de la zanja:

$$A_b = e_T \cdot L_T$$

$k$  = Coeficiente de permeabilidad (m/h)

$P$  = Perímetro de la base (m)

$h_{max}$  = Columna de agua máxima desde la base de la estructura de infiltración (m)

Si el  $t_{vaciado} > 48$  h es necesario modificar las dimensiones del SUDS hasta que se cumpla esta condición (por ejemplo, aumentando su superficie en planta y reduciendo su profundidad) antes de continuar con el siguiente paso (apartado 5.3.5).

En el caso en que la infiltración al terreno del agua almacenada no sea viable, el agua de vaciado se dirigirá a un cauce o arroyo cercano, o en su defecto, al sistema de alcantarillado municipal. En el caso en que no existan restricciones específicas de vertido (ver apartado 5.3.5), el vaciado se realizará a través de un conducto drenante (p. ej. un tubo dren) que capte el agua almacenada una vez filtrada por una combinación de vegetación, suelo, material granular y/o geotextiles (según la técnica de drenaje sostenible empleada), que conectará con un pozo de registro normalizado a partir del cual el agua será conducida hacia el cauce, o en su defecto, al sistema de alcantarillado municipal (ver sección del Anexo nº 4).

En este caso también se tendrá que comprobar que se cumple la condición de vaciado en 48 h, empleando para ello las ecuaciones de flujo pertinentes. De manera simplificada, puede considerarse que el conducto drenante ejerce de simple conector entre la infraestructura de almacenamiento y el pozo de registro, y que el control sobre el caudal de salida lo ejerce un orificio. Para dimensionar el orificio, o bien para calcular el tiempo de vaciado, se pueden emplear las siguientes ecuaciones (válidas para un volumen de almacenamiento en forma de prisma recto de área en planta  $A_s$  y altura  $h$ ):

$$A_o = \frac{A_s}{C_d} \left( \frac{gt_v^2}{2h} + 1 \right)^{-1/2} \quad (4)$$

$$t_{vaciado} = \sqrt{\frac{2h}{g} \left( \frac{A_s^2}{(A_o \cdot C_d)^2} - 1 \right)} \quad (5)$$

Donde:

$A_o$  = Área de la sección transversal interna del orificio (m<sup>2</sup>)

$A_s$  = Área en planta de la toma de almacenamiento el SUDS (m<sup>2</sup>)

$C_d$  = Coeficiente de descarga (m). Un valor habitual es  $C_d = 0,60$  m

$g$  = Aceleración originada por la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$t_{vaciado}$  = Tiempo de vaciado (s)

$h$  = Distancia desde la superficie de la lámina de agua hasta el centro del orificio (m).

Si el  $t_{vaciado} > 48$  h es necesario redimensionar el SUDS, aumentando el  $V_{SUDS}$  y el  $A_o$  si es posible.

### 5.3.5 Cumplimiento de las restricciones de vertido

El sistema de drenaje propuesto debe ser capaz de proporcionar la protección requerida sin producir inundaciones locales. Para ello, además de ser capaz de gestionar el volumen de escorrentía generado por el  $V_{80}$ , deberá diseñarse un rebose hacia un cauce o arroyo cercano, o en su defecto, al sistema de alcantarillado municipal.

En el primer caso (vertido a cauce), por tratarse de vertido a una masa de agua, se cumplirá lo que disponga la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT) en cada caso. Si existe una restricción de caudal ( $Q_{restricción}$ ), o de calidad de agua, deberá disponerse el volumen de almacenamiento/tratamiento suficiente y dimensionar rebose para que, junto con el caudal de evacuación controlada del agua almacenada tras la filtración (en los casos en los que no sea viable su infiltración), se cumpla la restricción impuesta.

En el caso de que el vertido se tenga que realizar al sistema de alcantarillado municipal, de manera análoga, se dispondrá del volumen de almacenamiento suficiente, y se dimensionará el rebose para que, junto con el caudal de evacuación controlada del agua

almacenada tras la filtración (en los casos en los que no sea viable su infiltración), se cumpla la restricción de caudal ( $Q_{restricción}$ ) impuesta.

En los casos en los que haya algún tipo de restricción, se deberá realizar una modelización del sistema de drenaje propuesto, cuyo alcance determinará la entidad competente en cada caso. Para comprobar que el sistema de drenaje propuesto es capaz de proporcionar la protección requerida sin producir inundaciones locales, se comprobará que el conjunto de técnicas de captación, transporte, almacenamiento, evacuación y rebose, gestiona adecuadamente las lluvias de diseño que en su caso establezca la entidad competente. A falta de otra indicación, se emplearán hietogramas rectangulares para diferentes duraciones e intensidades medias máximas (uniformes a lo largo de la duración del evento), construidas a partir de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que para el período de retorno de 10 años se presenta en el estudio pluviométrico realizado por AEMET (2003), según se establece en el apartado 5.1.4. Asimismo, se modelizará el funcionamiento del sistema de drenaje empleando la pluviometría de un año tipo, para comprobar que se gestiona un alto porcentaje de lluvia (en general superior al 80%). Para vertidos al sistema de alcantarillado municipal, el Ayuntamiento de Madrid establecerá en cada caso el registro de lluvia a emplear (serie 10-minutal).

La modelización requerida podrá llevarse a cabo con el empleo de programas informáticos específicos, tanto de libre distribución (SWMM), como comerciales. La modelización también será necesaria para situaciones complejas en las que se diseñen, por ejemplo, varias técnicas SUDS conectadas.

### 5.3.6 Cálculo de la estructura de rebose

En caso de que no existan restricciones específicas de vertido, y una vez comprobado el tiempo de almacenamiento del SUDS (apartado 5.3.4), se procederá a dimensionar un rebose desde el mismo hacia el punto de vertido capaz de evacuar la lluvia de diseño de periodo de retorno 10 años y 20 min de duración ( $i_{T10,20'}$ ), según se especifica en el apartado 5.1.4

Este paso se puede realizar de una forma sencilla utilizando la fórmula del aliviadero rectangular:

$$Q = C_v \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (6)$$

Donde:

$Q$  = Caudal de descarga por el aliviadero ( $m^3/s$ ).

\* Puede ser calculado con el Método Racional:

$$Q = i_{T10,20'} \cdot A_{imp}$$

$L$  = Anchura del vertedero (m)

$H$  = Sobreelevación sobre el umbral de vertido (m)

$C_v$  = Coeficiente de vertido, que depende de la tipología del vertedero (m)

A seleccionar por el proyectista. Puede utilizarse (Puertas et al., 2009):

\* Vertederos de pared delgada:  $C_v = 1,7 - 1,9$

Cuando espesor de la pared:  $e < 0,67 H$

\* Vertederos de pared gruesa:  $C_v = 1,5 - 1,7$

Cuando espesor de la pared:  $e \geq 0,67 H$

### 5.3.7 Tareas adicionales tras el dimensionamiento


Una vez dimensionado el sistema de gestión de aguas pluviales, a la hora de realizar el diseño detallado tendrá que considerarse las tareas de mantenimiento a llevar a cabo, con el objetivo de mantener su funcionalidad y aspecto a lo largo de su vida útil. De este modo, por ejemplo, tendrán que facilitarse accesos adecuados y seguros para el acceso del personal que realizará las tareas de mantenimiento. También se contemplará la oportunidad de dejar construidas arquetas y registros que pudieran servir para monitorizar el funcionamiento del sistema de drenaje.

Asimismo, será necesario incorporar en el proyecto de construcción un plan de mantenimiento para cada uno de los SUDS proyectados, que contemple un periodo de, al menos, 10 años. Adicionalmente, se considerará la idoneidad de incorporar carteles auto-explicativos para fomentar el conocimiento del funcionamiento de los SUDS y la necesidad de realizar una gestión sostenible de las aguas pluviales en la ciudad.

## 5.4 Tramitación administrativa de la autorización de vertido

Bien sea para verter sólo el rebose de la infraestructura de infiltración, o toda la escorrentía generada (tras su laminación y filtrado), es necesaria la tramitación administrativa de la autorización de vertido correspondiente a la institución competente:

- **Vertido a cauce público:** autorización por parte del Organismo de Cuenca, en este caso la Confederación Hidrográfica del Tajo ([CHT](#)).
    - Autorización de vertido a cauce: instancia normalizada con la documentación de acreditación de los datos aportados, así como el proyecto que justifique los volúmenes máximos que se puedan verter al cauce. Para lo cual están disponibles las [instrucciones para cumplimentar la solicitud de autorización](#) y el [modelo de solicitud](#).
    - Autorización de obras en zona de dominio público hidráulico o zona de policía: en función de la ubicación de la zona de obras, instancia normalizada con la documentación de acreditación de los datos aportados, así como proyecto que explique las obras a ejecutar. En el caso de que sea necesario ejecutar obras en la zona de dominio público hidráulico, se puede consultar la [hoja informativa sobre la autorización](#) y el [modelo de solicitud](#). Para la zona de policía también existe una [hoja informativa](#) y el [modelo de solicitud](#).
- Además, se debe remitir al servicio competente dentro del Ayuntamiento de Madrid la información que la CHT haya exigido en respuesta a la solicitud de vertido y precisar el punto de vertido.
- **Vertido a red de saneamiento municipal:** autorización por parte del servicio competente dentro del Ayuntamiento de Madrid.
    - Autorización de acometida al saneamiento: instancia de solicitud de acometida, así como anejo de saneamiento donde se explique la acometida a ejecutar en cumplimiento de la normativa municipal y la normativa del Canal de Isabel II, por ser la empresa que gestiona en la actualidad la red de alcantarillado.



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL TAJO  
COMISARÍA DE AGUAS

### SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN O REVISIÓN DE AUTORIZACIÓN DE VERTIDO (ART. 246.1 RDPH)

1. DATOS DEL TITULAR (1)			
Nombre y apellidos o razón social:			DNI/NIF/NIE/Pasaporte:
2. DATOS DEL DOMICILIO SOCIAL (2)			
Domicilio:			Código postal:
Paraje/Lugar/Polígono:			
Provincia:	Municipio:	Localidad:	
Correo electrónico:	Teléfono:	Fax:	
3. DATOS DEL REPRESENTANTE (3)			
Nombre y apellidos:			DNI/NIF/NIE/Pasaporte:
Cargo:	Correo electrónico:	Teléfono:	Fax:
4. ACTIVIDAD PRINCIPAL (4)			
CNAE:	Título CNAE:		
5. RADICACIÓN DE LA ACTIVIDAD (5)			
Domicilio:			Código postal:
Paraje/Lugar/Polígono:			
Provincia:	Municipio:	Localidad:	
6. DATOS RELATIVOS A LA NOTIFICACIÓN (6)			
Nombre y apellidos o razón social:			
<input type="checkbox"/> Correo electrónico:		<input type="checkbox"/> Dirección electrónica habilitada:	
<input type="checkbox"/> Dirección Postal:			
En cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de carácter personal (LOPD), la Confederación Hidrográfica del Tago, le informa que sus datos se incluirán en sus ficheros generales. Podrá ejercer el derecho de acceso, rectificación, oposición y cancelación de sus datos en la Secretaría General de la Confederación Hidrográfica del Tago.			
7. SOLICITA (7)			
<input type="checkbox"/> AUTORIZACIÓN DE VERTIDO	TIPO DE VERTIDO (8)	<input type="checkbox"/> Urbano y asimilable a urbano	<input type="checkbox"/> Industrial
<input type="checkbox"/> REVISIÓN DE AUTORIZACIÓN DE VERTIDO		<input type="checkbox"/> < 250 h-e (9)	<input type="checkbox"/> >= 250 h-e
Nº DE EXPEDIENTE:		<input type="checkbox"/> Con sustancias peligrosas	
<input type="checkbox"/> IMPOSICIÓN DE SERVIDUMBRE FORZOSA DE ACUEDUCTO		<input type="checkbox"/> Piscifactoría	
<input type="checkbox"/> DECLARACIÓN DE UTILIDAD PÚBLICA A EFECTOS DE EXPROPIACIÓN FORZOSA		<input type="checkbox"/> Refrigeración	
<input type="checkbox"/> CONCESIÓN DE APROVECHAMIENTO PRIVATIVO DE LAS AGUAS		<input type="checkbox"/> Achique de minas	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Resto de vertidos industriales	
En _____, a _____ de _____ de 20____			
<input type="checkbox"/> Firma del Titular		<input type="checkbox"/> Firma del Representante	
Nombre _____, con DNI/NIE/Pasaporte _____			
<b>Sr. Presidente de la Confederación Hidrográfica del Tago</b>			

Figura 7. Autorización de vertido. Fuente: CHT.



Figura 8. Río Manzanares. Fuente: Ayto. Madrid.

## 6. EXPERIENCIAS ESPAÑOLAS E INTERNACIONALES

En este apartado se recogen las experiencias de otras ciudades que ya cuentan con SUDS dentro de sus zonas verdes, tanto a nivel nacional como internacional. El motivo por el que se presentan varios ejemplos es servir de inspiración al usuario de esta guía, tanto para futuros desarrollos como para proyectos de rehabilitación.

### 6.1 Experiencias en la ciudad de Madrid

La zona verde de la **Nueva Sede del BBVA**, de aproximadamente 12.400 m<sup>2</sup>, construida en 2014, cuenta con áreas permeables casi en toda su planta: tierra vegetal en las zonas ajardinadas, paseos de zahorra y pavimentos de adoquín permeable en el acceso peatonal principal a las oficinas corporativas del BBVA. Su sistema de drenaje lo compone, principalmente, drenes filtrantes conectados a depósitos enterrados de infiltración con cajas reticulares; y, de existir, el rebose vierte a la red de alcantarillado municipal. El agua que no pueda infiltrarse por la zona del pavimento permeable discurre por celdas reticulares, que dirigen la escorrentía hacia dichos depósitos de infiltración. En base a la modelización numérica del comportamiento del sistema de drenaje para un año tipo, se estima que la incorporación de SUDS para la gestión de las aguas de lluvia supone una reducción del 83 % en el volumen anual que es vertido al sistema de saneamiento, respecto de la opción convencional de captar y dirigir rápidamente la escorrentía generada hacia los colectores (Perales-Momparler et al., 2016b).



Figura 9. Zona verde de la Nueva Sede del BBVA (Madrid).  
Fuente: Ayto. Madrid.

En el cruce de **C/ Alfonso XIII – C/ Paraguay** existen dos zonas verdes, ejecutadas en 2016, que incluyen SUDS: un parque de 2.050 m<sup>2</sup> y un huerto urbano de 2.900 m<sup>2</sup>. El objetivo de ambos proyectos era potenciar la retención e infiltración en origen y que únicamente los eventos extremos se dirigiesen al sistema de alcantarillado municipal. Además, destacan por su labor educativa, pues cuentan con carteles informativos que describen el sistema de drenaje y las tipologías de SUDS utilizadas (Perales-Momparler et al., 2016b).

En el **Parque**, la escorrentía del pavimento de tránsito se dirige a unos jardines de lluvia conectados entre sí (que incluyen además pequeños pozos de infiltración en su base). Cuando se excede la capacidad de los jardines, la escorrentía se conduce a una zona de infiltración-detención final con mayor volumen de almacenamiento. La zona de juegos tiene un dren filtrante enterrado bajo la superficie de arena que dirige la escorrentía hacia esta zona de infiltración-detención final (Perales-Momparler et al., 2016b).



Figura 10. Parque en el cruce C/ Alfonso XIII – C/ Paraguay.  
Fuente: Ayto. Madrid.

La red de pluviales del **Huerto urbano** está compuesta por tres ramales. El primero consiste en jardines de lluvia conectados entre sí por drenes. El segundo ramal lo conforman drenes filtrantes conectados con drenes en serie, que discurren perimetralmente al huerto. La zona sur es gestionada con un dren filtrante. El último ramal son varios jardines de lluvia que cuentan con infiltración y están conectados por una cuneta vegetada (Perales-Momparler et al., 2016b).



Figura 11. Huerto urbano en el cruce C/ Alfonso XIII – C/ Paraguay.  
Fuente: Ayto. Madrid.

De forma análoga al proyecto de la Nueva Sede del BBVA, la modelación numérica estima que para un año tipo la reducción de volúmenes anuales es del 92%, pasando de 727 m<sup>3</sup> a 57 m<sup>3</sup> al incluir SUDS (Perales-Momparler et al., 2016b).

El proyecto de urbanización exterior a los accesos al **Estadio del Atlético de Madrid**, de 2017, ha contado con técnicas SUDS, al utilizar pavimentos permeables y depósitos de detención enterrados. En las playas de aparcamiento, el depósito lo constituye la propia sub-base granular sobre la que se asienta el hormigón permeable de las plazas de apar-

camiento. En cambio, en el tramo de vial 3 frente al estadio, el agua filtrada por el pavimento permeable a base de adoquines es dirigida a unas alineaciones de cajas reticulares que conducen y laminan la escorrentía hasta los puntos de conexión con el sistema de alcantarillado del ámbito.

La aplicación de SUDS permitió reducir, de manera global, un 69 % (aproximadamente) los caudales pico para la tormenta de diseño (periodo de retorno 10 años e intensidad pico de 60,2 mm/h) frente a un esquema convencional (pavimento impermeable + imbornal a colector).



Figura 12. Pavimento permeable en el Estadio del Atlético del Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

La zona verde de La Atalayuela fue proyectada en 2005 con un sistema de drenaje convencional. Sin embargo, el diseño alternativo, ejecutado 2018, con técnicas de drenaje sostenible pone a prueba el cambio de paradigma de la gestión del agua pluvial en entornos urbanos. Con este nuevo diseño, se preservan los patrones naturales e incrementan las superficies vegetadas y permeables. La captación y laminación se realiza en origen mediante drenes filtrantes, longitudinalmente a los paseos. De forma complementaria, se introducen jardines de lluvia. La escorrentía que drena a las plazas es laminada e infiltrada mediante el empleo de distintos tipos de pavimentos permeables, con el fin de evaluar su comportamiento con el transcurso del tiempo (Fisac et al., pp2019).



Figura 13. SUDS en la zona verde de La Atalayuela. Fuente: IGB Ingeniería Básica.

## 6.2 Otras experiencias españolas

El proyecto de remodelación del **barrio de Bon Pastor (Barcelona)**, del año 2016, apostó por un drenaje urbano sostenible que, además de gestionar la escorrentía en origen y restaurar el ciclo natural del agua, aportase resiliencia al entorno y contribuyese a naturalizar el paisaje urbano. Para ello, se ha seleccionado el tipo de SUDS acorde al tipo de espacio urbano y en las cuencas drenantes se han incluido las cubiertas de los nuevos edificios. Por ejemplo, en los viales interiores se han incluido jardines de lluvia, mientras que en la calle convencional (con acera y calzada) franjas de biorretención. También se han utilizado pavimentos permeables y alcorques estructurales con celdas reticulares en las alineaciones de arbolado de la calle (Soto-Fernández & Perales-Momparler, 2017).



Figura 14. SUDS en el barrio de Bon Pastor (Barcelona). Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo, Ayto. de Barcelona.

En el diseño de las zonas verdes del proyecto de urbanización del **barrio de Can Cortada (Barcelona)**, del año 2014, se limitaron las superficies impermeables al tránsito de peatones y vehículos, la conexión con calles existentes y la implantación de servicios, entre otros. La superficie restante ha sido deprimida para recoger la escorrentía en origen de las zonas impermeables adyacentes y liberar, así, la red unitaria. De este modo, la red de pluviales se desarrolla, principalmente, por superficie mediante jardines de lluvia y cunetas vegetadas; también incluye depósitos de infiltración con cajas reticulares y pozos de infiltración (Perales-Momparler & Soto-Fernández, 2013).



Figura 15. SUDS en Can Cortada (Barcelona). Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo, Ayto. de Barcelona.

El municipio de **Benaguasil (Valencia)**, con 11.000 habitantes, es todo un ejemplo por hacer frente a la impermeabilización del suelo con estrategias SUDS. Entre 2010 y 2015, se construyeron y monitorizaron cinco SUDS: jardines de lluvia en el polígono “Les Eres” y en el parque Costa Ermita; un aljibe en el centro juvenil; y una cubierta vegetada y un aljibe en el centro social. Su monitorización ha permitido verificar que los SUDS tienen beneficios tanto en calidad como en cantidad, reduciendo así los problemas en el núcleo urbano en tiempos de lluvia. Esta enriquecedora experiencia fue galardonada con el Premio Ciudad Sostenible 2015 (Ballester-Olmos y Anguís et al., 2015; Perales-Momparler et al., 2016a; Peris García & Perales-Momparler, 2016).



Figura 16. SUDS en Benaguasil (Valencia). Fuente: Green Blue Management.

El reconocimiento que **Vitoria-Gasteiz (Álava)** obtuvo como European Green Capital 2012 por parte de la Comisión Europea, tras décadas de plasmar su compromiso ambiental en políticas urbanísticas y de gestión del territorio, supuso un aliciente para la presentación, en 2014, de una propuesta de un Sistema de Infraestructura Verde Urbana, donde se integran técnicas SUDS como depósitos de infiltración y jardines de lluvia, entre otros. Entre las actuaciones ya realizadas en el entorno urbano, cabe resaltar la remodelación de la Avenida Gasteiz, donde se ha aumentado la superficie permeable, potenciado la infiltración y retención en origen y aprovechado el agua para riego, utilizando técnicas como pavimentos permeables y cunetas vegetadas (Centro de Estudios Ambientales, 2014; Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2017).



Figura 17. SUDS en Vitoria-Gasteiz. Fuente: Ayto. de Vitoria-Gasteiz (2017).

En **Santander (Cantabria)** se rehabilitó, en 2008, el parque urbano de Las Llamas apostando por principios de diseño sostenibles. El parque de 300.000 m<sup>2</sup> cuenta con un humedal artificial, un estanque y un aparcamiento permeable experimental, donde se han monitorizado durante 5 años diferentes tipologías: asfalto y hormigón poroso, césped reforzado con celdas de hormigón y de polipropileno y adoquines permeables, así como varios geotextiles (Andrés-Valeri et al., 2016).



Figura 18. SUDS en Santander. Fuente: Andrés-Valeri et al. (2016).

En **San Sebastián (Guipúzcoa)** existen varios espacios que gestionan las aguas pluviales. La primera experiencia, de 2007, es el parque de Kristina Enea en Gros, que cuenta con drenes filtrantes que transportan la escorrentía a un depósito de infiltración enterrado de cajas reticulares. Posteriormente, se construyó el parque de Ametzagaina en Intxaurrenondo, que cuenta con una gran zona de infiltración, esta vez al aire libre. En la urbanización de caminos y zonas de estancia del Monte Ulia, se emplean zanjas y pozos de infiltración para gestionar las aguas de lluvia que se precipitan por las distintas laderas. La renovación de la Plaza Sagastieder en el barrio de Intxaurrenondo, incluyó alcorques estructurales con celdas rellanas de tierra. Por su parte, el edificio Enertic en Martutene, tiene: la cubierta vegetada, conectada a un aljibe; pavimento permeable en el aparcamiento; y cuneta vegetada. Más recientemente, los caminos del parque de Arrobitxulo en Herrera se han ejecutado con pavimento permeable (Rodríguez et al., 2013).



Figura 19. SUDS en San Sebastián. Fuente: Ayto. de Donostia.

### 6.3 Experiencias internacionales

En **Inglaterra** existen políticas nacionales que apoyan la implementación de los SUDS. Entre sus múltiples experiencias, cabe destacar que en **Londres** se han orientado de estas técnicas sostenibles con el aprendizaje de niños en el ciclo del agua, el medio ambiente y la innovación. Algunas de las técnicas empleadas ha sido utilizar cubrir los flujos de escorrentía con cerámicas de colores, bombas manuales en aljibes para regar jardines, canaletas con cascadas, entre otros (London Play, 2010).



Figura 20. SUDS en colegios de Londres. Fuente: London Play (2010).

En la ciudad de **Malmö** (Suecia) se tiene en cuenta la gestión del agua de lluvia con la filosofía SUDS desde finales de los 80. Por ejemplo, en el 2002 se completó la ecociudad Augustenborg, aplicando técnicas como: infiltración en origen con cubiertas vegetadas y pavimento permeable; detención en balsas y áreas de inundación temporal; y transporte con cunetas vegetadas y canales (Stahre, 2008).

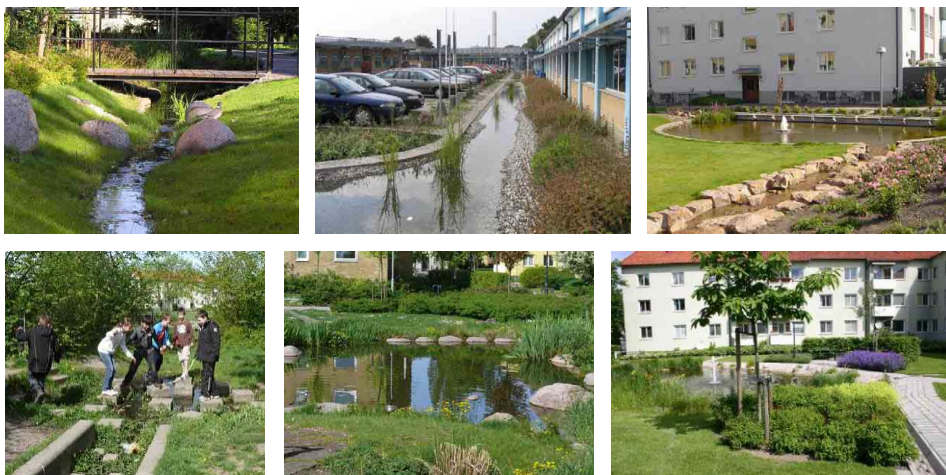


Figura 21. SUDS en la ciudad de Malmö. Fuente: Stahre (2008).

Desde la aprobación, en 2010, del Plan de Infraestructura Verde de la ciudad de **Nueva York** (EE.UU.) se han lanzado numerosos programas y actividades, como subvenciones de infraestructura verde, estándares de diseño, memorándum por el mantenimiento de la infraestructura verde, un mapa web donde consultar las infraestructuras verdes construidas, en construcción o programadas, entre otros. A finales de 2015, ya se habían construido más de 2.500 jardines de lluvia para gestionar agua de aceras y viario, y actualmente se está trabajando en el diseño de regeneración de 250 propiedades públicas y 29 parques (City of New York, 2010; 2012; 2017).



Figura 22. SUDS en la ciudad de Nueva York. Fuente: City of New York (2010).



Figura 23. Plaza Kiely Hall antes, durante y tras su construcción. Fuente: City of New York (2012).

En **Washington DC** (EE.UU.) se aprobó en 2013 el plan paraguas *Sustainable DC Plan*. Desde entonces, se han convertido 76,7 Ha de área impermeable en permeable; por ejemplo, se han instalado en torno a 24 Ha de cubiertas vegetadas. Tras modificar la regulación en 2013 para incluir la gestión del agua de lluvia, se publicó un estándar de diseño de infraestructuras verdes, donde aparecen dibujos técnicos, especificaciones, tipos de plantas y programas de mantenimiento (District of Columbia, 2013; 2014a; 2014b; 2016).




Figura 24. Parterres inundables en el parque Georgetown Waterfront. Fuente: Green Blue Management.





## 7. BIBLIOGRAFÍA


A continuación, se presenta un listado de otros manuales y guías que pueden servir de referencia a la hora de planificar, diseñar y mantener los sistemas de drenaje sostenible, así como las referencias bibliográficas mencionadas a lo largo de la presente guía.


### 7.1 Consultada para la elaboración de la presente guía


 AEMET - Agencia Estatal de Meteorología (2003). *Curvas de intensidad, duración, frecuencia de la precipitación en España*. Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología. Madrid. Centro de Publicaciones, Ministerio de Medio Ambiente. ISBN 84-8320-258-1.


 Andrés-Valeri, V. C., Perales-Momparler, S., Sañudo-Fontaneda, L. A., Andrés-Domenech, I., Castro-Fresno, D., & Escuder-Bueno, I. (2016). *Sustainable Drainage Systems in Spain*. En Wiley-Blackwell (Ed.), *Sustainable Surface Water Management: A Handbook for SUDS* (pp. 355-370).


 Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible. Dirección General de Control de la Edificación (2013). *Texto consolidado del Decreto de 13 de julio de 2017 del Delegado del Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible por el que se aprueba la convocatoria pública de subvenciones 2017 con destino a actuaciones de accesibilidad, conservación y eficiencia energética de edificios existentes de uso residencial vivienda*. Ayuntamiento de Madrid.


 Ayuntamiento de Madrid (2006). *Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid*. BO. Ayuntamiento de Madrid 22/06/2006 num. 5709 pag. 2410-2443.


 Ayuntamiento de Madrid (2015). *Proyecto Madrid + Natural*.


 Ayuntamiento de Madrid. *Guía del jardín sostenible. Mucho más que un jardín*. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad.

 Ayuntamiento de Madrid. *Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid*. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad.

 Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz (2017). *Centro de Estudios Ambientales - La Infraestructura Verde de Vitoria-Gasteiz*.


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


 Centro de Estudios Ambientales (2014). *La infraestructura verde urbana de Vitoria-Gasteiz. Documento de Propuesta*. Centro de Estudios Ambientales. Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

 City of New York (2010). *NYC Green Infrastructure Plan. A Sustainable strategy for clean waterways*.


 City of New York (2012). *NYC Green Infrastructure: 2012 Annual Report*.

 City of New York (2017). *NYC Green Infrastructure: 2016 Annual Report*.


 District of Columbia (2013). *Sustainable DC Plan*. District Office of Planning (OP) & Department of Energy & Environment (DOEE) USA.


 District of Columbia (2014a). *Green Infrastructure Standards*. Department of transportation.

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


 Fisac Gozalo, J., de Pazos Liaño, M., Rodríguez Sotos, S., Montilla Seguín, E. (Pre- vista su publicación en abril 2019). *SUDS para limitar la aportación de agua de lluvia a*


los colectores: el caso práctico del A.P.E. 18.06 “La Atalayuela”. Revista de Obras Públicas (ISSN 0034-8619).


 London Play (2010). A ‘How to’ Guide. Play with Rainwater and Sustainable Drainage. Planet Earth Ltd. Inglaterra.


 Morales-Torres, A., Perales-Momparler, S., Jefferies, C., Andrés-Domenech, I. (2015). *Report on Stormwater Management*. E2STORMED Project. Improvement of energy efficiency in the water cycle by the use of innovative storm water management in Smart Mediterranean cities.


 ONU-Hábitat (2015). *Directrices Internacionales sobre Planificación Urbana y Territorial*. United Nations Human Settlements Programme, Nairobi.


 Perales-Momparler, S., Andrés-Domenech, I., Hernández-Crespo, C., Vallés-Morán, F., Martín, M., Escuder-Bueno, I., & Andreu Álvarez, J. (2016a). *The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain*. Journal of Cleaner Production.


 Perales-Momparler, S., de Pazos Liaño, M., Morales-Torres, A. (2016b). *Casos prácticos de aplicación de los Sistemas de Drenaje Sostenible en la ciudad de Madrid*. Congreso Ingeniería Civil. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.


 Perales-Momparler, S., Soto-Fernández, R. (2013). *La integración de la gestión de las escorrentías en el paisaje de Barcelona: actuaciones de regeneración urbana*. III Jornadas de Ingeniería del Agua. La protección contra los riesgos hídricos. Universidad Politécnica de Valencia.


 Peris García, P., Perales-Momparler, S. (2016). *La apuesta por la infraestructura verde urbana para la gestión de pluviales tiene premio*. En CONAMA 2016: La respuesta es verde.

 Puertas Agudo, J., Suárez López, J., & Anta Álvarez, J. (2009). *Gestión de las Aguas Pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. M-98*. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). ISBN: 978-84-7790-475-5.


 Rodríguez Bayón, J., Vázquez Altuna, A., Egaña Querejeta, A. (2013). *SUDS. Drenaje Sostenible*. XXXII Jornadas AEAS. San Sebastián.

 Sordo-Ward, A., Gabriel-Martín, I., Perales-Momparler, S., Garrote, L. (Prevista su publicación en abril 2019). *Influencia de la precipitación en el diseño de sistemas de gestión sostenible de aguas pluviales (SUDS)*. Revista Obras Públicas (ISSN 0034-8619).


 Stahre, P. (2008). *Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden. Malmö's way towards a sustainable urban drainage*. Va syd.


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




















## 7.2 Manuales y guías de referencia para el diseño

 Atlanta Regional Commission (2016). *Georgia Stormwater Management Manual*. Georgia (USA).

 Ayuntamiento de Madrid (2007). *Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid*.

 Ayuntamiento de Madrid (2009). *Buenas Prácticas en Arquitectura y Urbanismo para Madrid. Criterios bioclimáticos y de eficiencia energética*. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid.

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

-  District of Columbia (2014). *Greening DC Streets*. Department of transportation.
-  City of Edmonton (2014). *Low Impact Development. Best Management Practices*. Design Guide. Ed. 1.1. Canadá.
-  City of Mesa (2015). *Low Impact Development Toolkit*. Arizona. USA.
-  City of Portland (2016). *Stormwater Management Manual*. Portland Bureau of Environmental Services. USA.
-  City of San Francisco (2016). *San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines*. San Francisco (USA).
-  Empresa de Transformación Agraria, S.A. (2015). *GIAE. Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados*. Grupo Tragsa. M-9957-2015.
-  EPA (2008). *Managing Stormwater in Your Community A Guide for Building an Effective Post-Construction Program*. Environmental Protection Agency. Center for Watershed Protection, Inc. EPA Publication No: 833-R-08-001.
-  Garvin, S. L. (2016). *Soakaway Design. Revised 2016. Digest 365*. Building Research Establishment (BRE).
-  Government of South Australia (2009). *Water sensitive urban design, greater Adelaide region*. Dept. of Planning and Local Government.
-  Government of Wales (2017). *Recommended non-statutory standards for sustainable drainage (SuDS) in Wales – designing, constructing, operating and maintaining surface water drainage systems*. Llywodraeth Cymru. Welsh Government. UK.
-  Government of Western Australia (2007). *Stormwater Management Manual for Western Australia*. Department of Water. ISBN 978-1-921094-61-3.
-  Philadelphia Water Department and Streets Department (2014). *City of Philadelphia Green Streets Design Manual*. City of Philadelphia (USA).
-  Port of Portland (2014). *Stormwater Design Standards Manual*. City of Portland (USA).
-  Prince George's County, Maryland (1999). *Low-Impact Development Hydrologic Analysis*. Department of Environmental Resources.
-  Rodríguez-Rojas, M. I. (2017). *Guía para la integración de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el Proyecto Urbano*. Universidad de Granada.
-  Southern California Stormwater Monitoring Coalition (2010). *Low Impact Development Manual for Southern California: Technical Guidance and Site Planning Strategies*. Prepared for the Southern California Stormwater Monitoring Coalition, in cooperation with the State Water Resources Control Board, by the Low Impact Development Center, Inc. USA.
-  Transport for London (2016) *SuDS in London: a guide*. Major of London.
-  UNEP (2014). *Green Infrastructure: guide for water management*. United Nations Environment Programme.
-  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.
-  Woods-Ballard, P., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. y Kellagher, R. (2015). *The SUDS Manual*. CIRIA. London (UK).



Jardín de lluvia en Washington DC (EE.UU.). Fuente: Green Blue Management.

## 8. ANEXOS

Anexo Nº 1: Geología y resultados de ensayos de permeabilidad realizados en Madrid

Anexo Nº 2: Procedimiento de ensayo de permeabilidad en zanja

Anexo Nº 3: Procedimiento de ensayos de permeabilidad en pavimentos

Anexo Nº 4: Secciones tipo



Jardín de lluvia en C/ Alfonso XIII – C/ Paraguay en Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.



Parque en el cruce C/ Alfonso XIII – C/ Paraguay en Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

## ANEXO Nº 1: GEOLOGÍA Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN MADRID

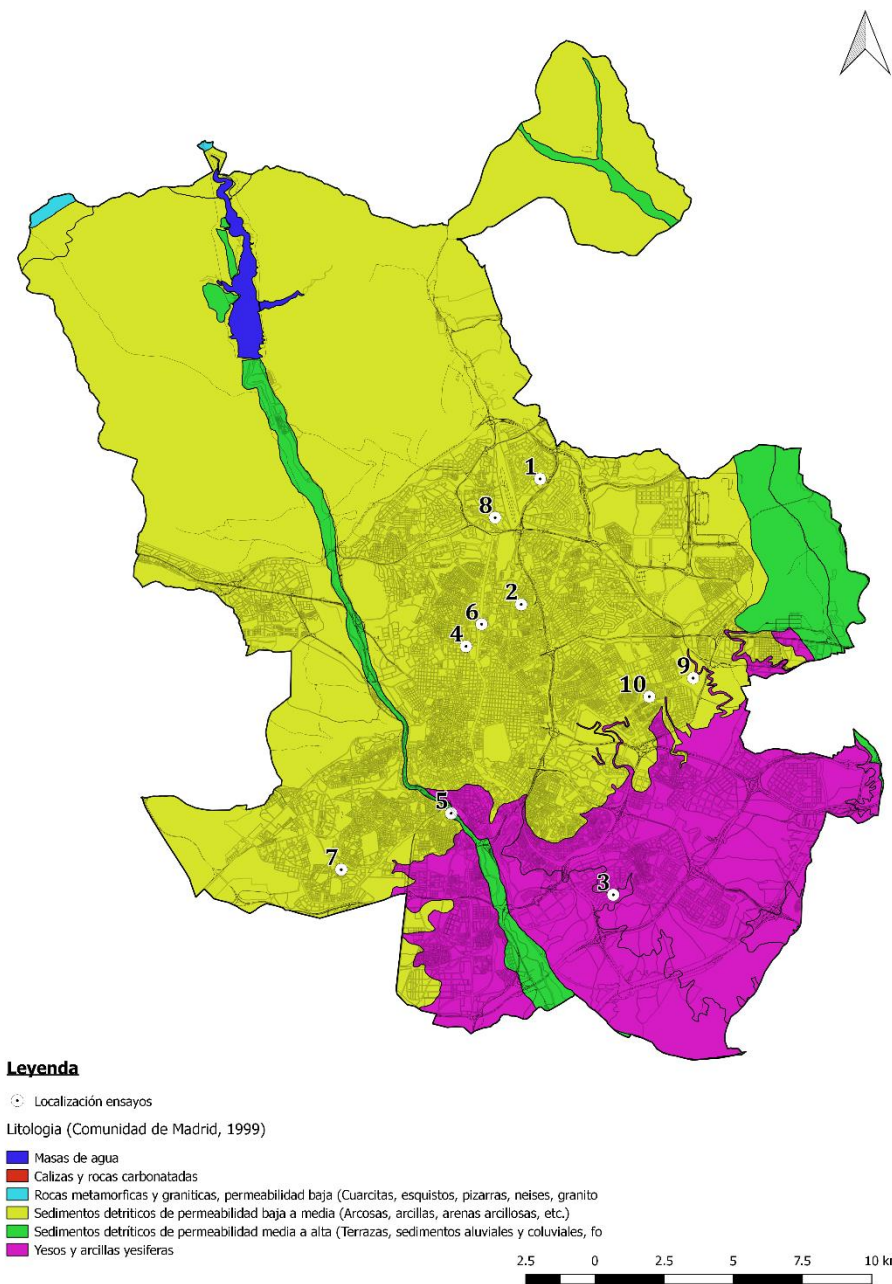
Como paso previo a la medición del coeficiente de permeabilidad del terreno es necesario conocer, al menos en sus aspectos básicos, la estructura litológica del suelo subyacente, que condicionará las distintas formas de almacenamiento, circulación o infiltración del agua.

El municipio de Madrid se sitúa, en su mayor parte, en la cuenca del Tajo, con litologías dominantes formadas por arcosas y otras arenas, yesos, arcillas y carbonatos, cubiertos con depósitos cuaternarios debidos a la acción fluvial.

Para seleccionar el valor de permeabilidad se pueden utilizar los resultados de ensayos de permeabilidad en zanja realizados en el municipio de Madrid, localizados en la A1.1. y recogidos en la Tabla A1.1.

Tabla A1.1. Resultados ensayos de permeabilidad en zanja. Fuente: Ayto. de Madrid.

Nº	Localización	Fecha del ensayo	Permeabilidad (m/s)		
			Mejor	Media	Peor
1	Nueva Sede BBVA, Las Tablas	2014 Febrero	3,28E-06	2,65E-06	2,14E-06
2	C/ Alfonso XIII - C/ Paraguay	2015 Abril	1,40E-05	1,18E-05	1,00E-05
3	Urbanización La Atalayuela	2017 Marzo	6,50E-05	5,09E-05	3,98E-05
4	C/ Raimundo Fernández Villaverde, 50	2017 Marzo	3,23E-07	2,37E-07	1,74E-07
5	C/ Antonio López, 119-111	2017 Mayo	1,88E-05	4,83E-06	1,25E-06
6	Exterior Estadio Santiago Bernabéu	2017 Nov	1,41E-05	8,26E-06	4,83E-06
7	C/ Aguacate - C/Duquesa Tamames, Carabanchel	2017 Nov	1,02E-04	6,12E-05	3,67E-05
8	C/ Belorado - C/ Llano Castellano, Fuencarral B	2018 Abril	2,41E-05	1,09E-05	4,91E-06
9	Accesos M-40 en el Estadio Metropolitano	2018 Julio	3,17E-06	1,29E-06	5,22E-07
10	CEIP Ramón María del Valle Inclán, San Blas	2018 Julio	6,88E-08		



### Leyenda

Localización ensayos

Litología (Comunidad de Madrid, 1999)

Masas de agua

Calizas y rocas carbonatadas

Rocas metamórficas y graníticas, permeabilidad baja (Cuarzitas, esquistos, pizarras, neises, granito)

Sedimentos detríticos de permeabilidad baja a media (Arcosas, arcillas, arenas arcillosas, etc.)

Sedimentos detríticos de permeabilidad media a alta (Terrazas, sedimentos aluviales y coluviales, fo)

Yesos y arcillas yesíferas



Figura A1.1. Localización ensayos de permeabilidad en zanja. Fuente: Ayto. de Madrid.



Ensayo de permeabilidad en zanja. Fuente: IGB Ingeniería Básica.



## ANEXO Nº 2: PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN ZANJA

En este anexo se expone el método propuesto para la obtención del valor del coeficiente de permeabilidad a utilizar en el diseño de infraestructuras de infiltración. Se trata de un ensayo *in situ* a realizar en aquellos lugares donde se propone la construcción de una infraestructura de infiltración y está basado en la publicación británica **BRE Digest 365, 'Soakaway Design' Revised 2016**.

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

Las dimensiones de la excavación dependerán de cada situación en particular y deben seleccionarse de modo que reproduzcan adecuadamente las condiciones de la estructura de infiltración:

- El ancho debería estar entre 0,30 - 1 m. Un valor habitual es 0,60 m.
- El largo debería estar entre 1 - 3 m. Típicamente, se emplea 1,50 m.
- La profundidad recomendada es aquella que tenga la infraestructura proyectada. No obstante, algunos valores orientativos son: 1 – 1,50 m por debajo del punto de entrada de agua a la infraestructura; o bien, 1,50 - 2,50 m. Un valor típico es 1,50 m, llenando únicamente la zanja hasta 1 m para la realización del ensayo.

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

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

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

A ser posible, además de las mediciones tomadas en los intervalos de tiempo establecidos, se tomarán los tiempos correspondientes a las cotas de agua de 75% y 25% de la altura de agua inicial ( $h_0$ ).

Se prevé la realización de este ensayo en al menos dos zanjas para cada una de las localizaciones propuestas.

En caso de que llueva durante la ejecución del ensayo, ha de quedar registro en el informe del ensayo. De este modo, se recoge la posibilidad de un aumento del nivel de agua. Tras el evento de lluvia, se ha de registrar si la zanja está vacía tras 48 h.

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

A partir de datos tomados en el transcurso del ensayo, el valor del coeficiente de infiltración se obtiene con la siguiente fórmula:

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

Donde:

$k$  = coeficiente de infiltración (m/s);

$V_{P75-25}$  = volumen de almacenamiento entre el 75% y el 25% de la profundidad de la excavación que se llena de agua, siendo el 100% el volumen de agua inicial (m<sup>3</sup>);

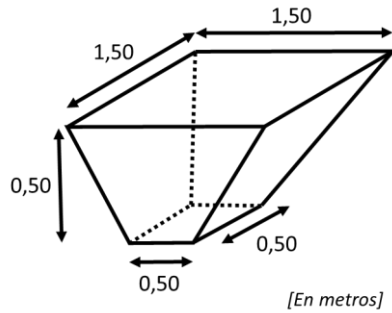
$a_{P50}$  = superficie mojada al 50% de la profundidad de la excavación que se llena de agua, incluyendo el área de la base (m<sup>2</sup>);

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

### Método Haefeli

Un caso particular de este ensayo es adoptar la geometría de zanja correspondiente al método Haefeli.

El ensayo consiste en llenar una excavación con agua hasta una altura determinada. La excavación, en forma de artesa o tronco piramidal invertido, tiene bases cuadradas de 1,5 m de lado de la base superior y 0,5 m tanto para la profundidad y el lado de la base inferior.



El método propone la siguiente fórmula para determinar la permeabilidad saturada en cada intervalo de registro:

$$k = \frac{1 + 8h_m(1+2h_m)}{54h_m + 3} \cdot v = 0,25 \cdot v$$

Donde:

$k$  = Permeabilidad (cm/s);

$h_m$  = Altura media del agua en el periodo medido (cm);

$v$  = Velocidad de descenso (cm/s).

## ANEXO Nº 3: PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD IN SITU EN PAVIMENTOS PERMEABLES

El objetivo de este anexo es describir la metodología de los ensayos in situ disponibles en el mercado para estimar la capacidad drenante o permeabilidad de los pavimentos permeables.

### Permeámetro LCS

El ensayo de permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS está normalizado a nivel nacional (NLT-327/00) y se aplica sobre pavimentos continuos.

Los aparatos y material necesario para desarrollar el ensayo son: permeámetro LCS; una reserva de agua de al menos 20 l por ensayo; y un cronómetro con precisión de 0,5 s.

En primer lugar, se sitúa el permeámetro en el punto elegido para el ensayo y se coloca la carga teórica sobre la base. A continuación, se llena de agua el tubo transparente del permeámetro hasta unos 15 cm por encima de la marca superior de medida, y se deja que se vacíe, para mojar y saturar el pavimento. Seguidamente se vuelve a llenar de la misma forma el permeámetro y se anota el tiempo que tarda el nivel del agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.



Figura 25. Ensayo con Permeámetro LCS en el hormigón poroso del aparcamiento del Estadio del Atlético de Madrid. Fuente: Green Blue Management

Finalmente, el valor de permeabilidad se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Ln k = 7,624 - 1,348 Ln T$$

$$Ln v = 4,071 - 0,305 Ln T$$

Siendo:

$k$  = Coeficiente de permeabilidad ( $10^{-2}$  cm/s)

$T$  = Tiempo de evacuación del agua (s)

$v$  = Porcentaje de huecos (%)

Tabla 6. Aplicación de la fórmula del permeámetro LCS.

TIEMPO (sg.)	K(cm/s)	Huecos %	I/M2*MIN	TIEMPO (sg.)	K(cm/s)	Huecos %	I/M2*MIN
10	0,918	29,04	551,08	51	0,102	17,67	61,29
11	0,808	28,21	484,64	52	0,100	17,56	59,71
12	0,718	27,47	431,00	53	0,097	17,46	58,20
13	0,645	26,81	386,92	54	0,095	17,36	56,75
14	0,584	26,21	350,13	55	0,092	17,27	55,36
15	0,532	25,66	319,04	56	0,090	17,17	54,03
16	0,487	25,16	292,45	57	0,088	17,08	52,76
17	0,449	24,70	269,51	58	0,086	16,99	51,54
18	0,416	24,27	249,52	59	0,084	16,90	50,36
19	0,387	23,88	231,98	60	0,082	16,81	49,23
20	0,361	23,51	216,48	61	0,080	16,73	48,15
21	0,338	23,16	202,70	62	0,079	16,65	47,11
22	0,317	22,83	190,38	63	0,077	16,57	46,10
23	0,299	22,53	179,31	64	0,075	16,49	45,13
24	0,282	22,24	169,31	65	0,074	16,41	44,20
25	0,267	21,96	160,25	66	0,072	16,33	43,30
26	0,253	21,70	151,99	67	0,071	16,26	42,43
27	0,241	21,45	144,46	68	0,069	16,18	41,59
28	0,229	21,21	137,54	69	0,068	16,11	40,78
29	0,219	20,99	131,19	70	0,067	16,04	40,00
30	0,209	20,77	125,33	71	0,065	15,97	39,24
31	0,200	20,57	119,91	72	0,064	15,90	38,51
32	0,191	20,37	114,89	73	0,063	15,84	37,80
33	0,184	20,18	110,22	74	0,062	15,77	37,11
34	0,176	19,99	105,87	75	0,061	15,71	36,44
35	0,170	19,82	101,81	76	0,060	15,64	35,80
36	0,163	19,65	98,02	77	0,059	15,58	35,17
37	0,157	19,49	94,47	78	0,058	15,52	34,57
38	0,152	19,33	91,13	79	0,057	15,46	33,98
39	0,147	19,18	87,99	80	0,056	15,40	33,41
40	0,142	19,03	85,04	81	0,055	15,34	32,85
41	0,137	18,88	82,26	82	0,054	15,29	32,31
42	0,133	18,75	79,63	83	0,053	15,23	31,79
43	0,129	18,61	77,14	84	0,052	15,17	31,28
44	0,125	18,48	74,79	85	0,051	15,12	30,79
45	0,121	18,36	72,56	86	0,051	15,07	30,30
46	0,117	18,23	70,44	87	0,050	15,01	29,84
47	0,114	18,11	68,43	88	0,049	14,96	29,38
48	0,111	18,00	66,51	89	0,048	14,91	28,94
49	0,108	17,89	64,69	90	0,048	14,86	28,50
50	0,105	17,78	62,95	91	0,047	14,81	28,08

## Ensayo de permeabilidad estático

El ensayo se realiza directamente sobre el pavimento permeable, bien tras el extendido o en fase de explotación, tanto si es continuo como discontinuo. En este ensayo, el equipo necesario es el siguiente:

- Un remolque, con un depósito que almacene el agua.
- Una motobomba, para extraer el agua.
- Un caudalímetro, para controlar el caudal de aporte.
- Un sistema de lanzas, para rociar el agua sobre el pavimento. Está compuesto por tres tuberías huecas metálicas perforadas para simular las gotas de lluvia. La lanza central tiene el ancho del remolque, mientras que las dos restantes (situadas a ambos lados de la central) son replegables para poder abarcar la totalidad del carril.
- Una cámara termográfica, instalada en una pértiga en una posición y orientación adecuada respecto al sistema de lanzas.
- Un sistema de posicionamiento GPS.

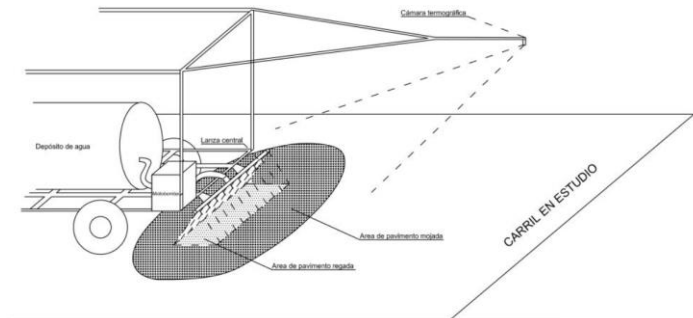


Figura A3.1. Esquema de funcionamiento del equipo de ensayo in situ. Fuente: CEMOSA

El equipo se posiciona en el carril de estudio y, permaneciendo parado durante todo el ensayo, rocía agua sobre el pavimento, manteniendo el caudal constante, hasta la formación de un charco estable. Para el bombeo se utiliza únicamente la lanza central. El tiempo de bombeo debe ser el suficiente para formar un charco superficial estable. Al mismo tiempo, la cámara termográfica controla la superficie regada, la formación y el área del charco.

La duración del ensayo depende del tiempo necesario para que se forme un charco estable. Además, se aconseja realizar tiempos más cortos o más largos con el fin de comprobar la repetitividad de los resultados obtenidos.

El coeficiente de permeabilidad se obtiene en base a los fundamentos físicos de la ley de conductividad hidráulica, que lo relacionan directamente la superficie ocupada por el charco y el caudal de agua aportado. De modo que, tras medir la superficie adoptada por el charco con la información recabada por la cámara termográfica y determinar el caudal con el caudalímetro, se podrá emplear la siguiente ecuación:

$$k = 10 \cdot \left( \frac{Q_s}{10,5 \cdot A_{moj}} \right)^{0,81}$$

$$h(\%) = 10,5 \cdot k^{0,226}$$

Donde:

$k$  = Coeficiente de permeabilidad ( $10^{-2}$  cm/s)

$Q_s$  = caudal de agua suministrado por el equipo (l/min)

$h$  = Porcentaje de huecos (%)

$A_{moj}$  = Área que resulta del charco que se forma en el pavimento durante el proceso de bombeo de agua una vez este se estabiliza ( $m^2$ )

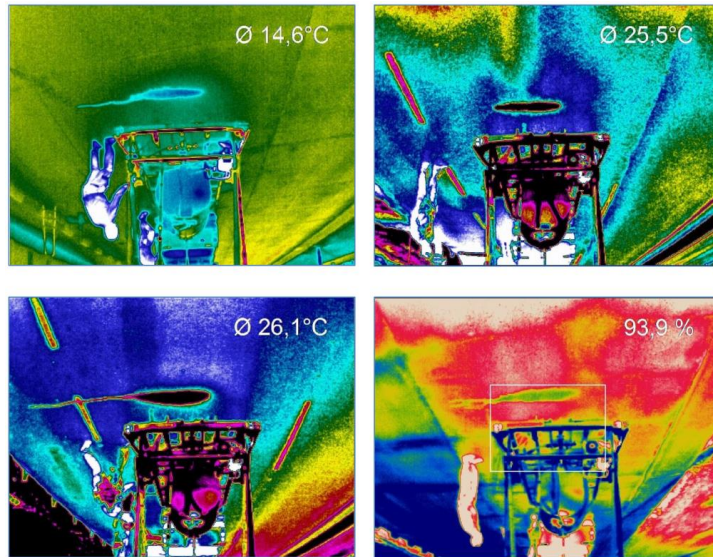


Figura A3.2. Imágenes captadas por una cámara termográfica, de donde se extrae el  $A_{moj}$ .  
Fuente: CEMOSA

Una vez formado el charco, la cámara termográfica debe registrar su evolución hasta que éste desaparezca total o parcialmente (denominado ensayo de tiempo de absorción/dispersión). De este modo, se obtiene el tiempo necesario que el pavimento permeable quede libre de charcos.

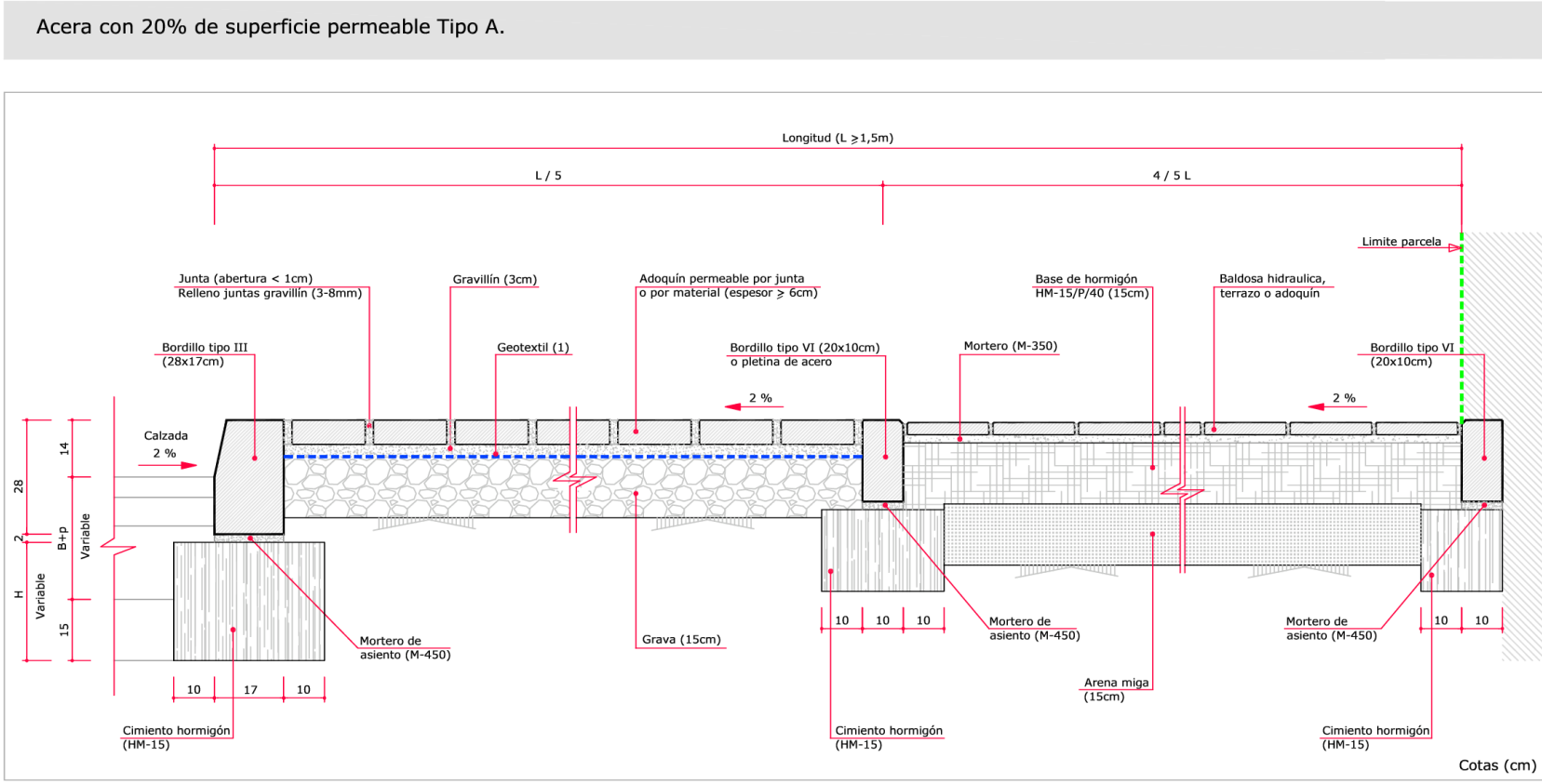
Además de obtener la permeabilidad, este ensayo proporciona las siguientes características fundamentales de los pavimentos permeables:

- Detección automática de charcos
- Posibles heterogeneidades (exceso de betún, segregación de áridos, paradas de extendedora, etc.)
- Porcentaje de huecos, o grado de compactación inmediatamente tras el extendido
- Estado de colmatación de los huecos, en fase de explotación.
- Efectividad de las medidas de mantenimiento o limpieza llevadas a cabo.



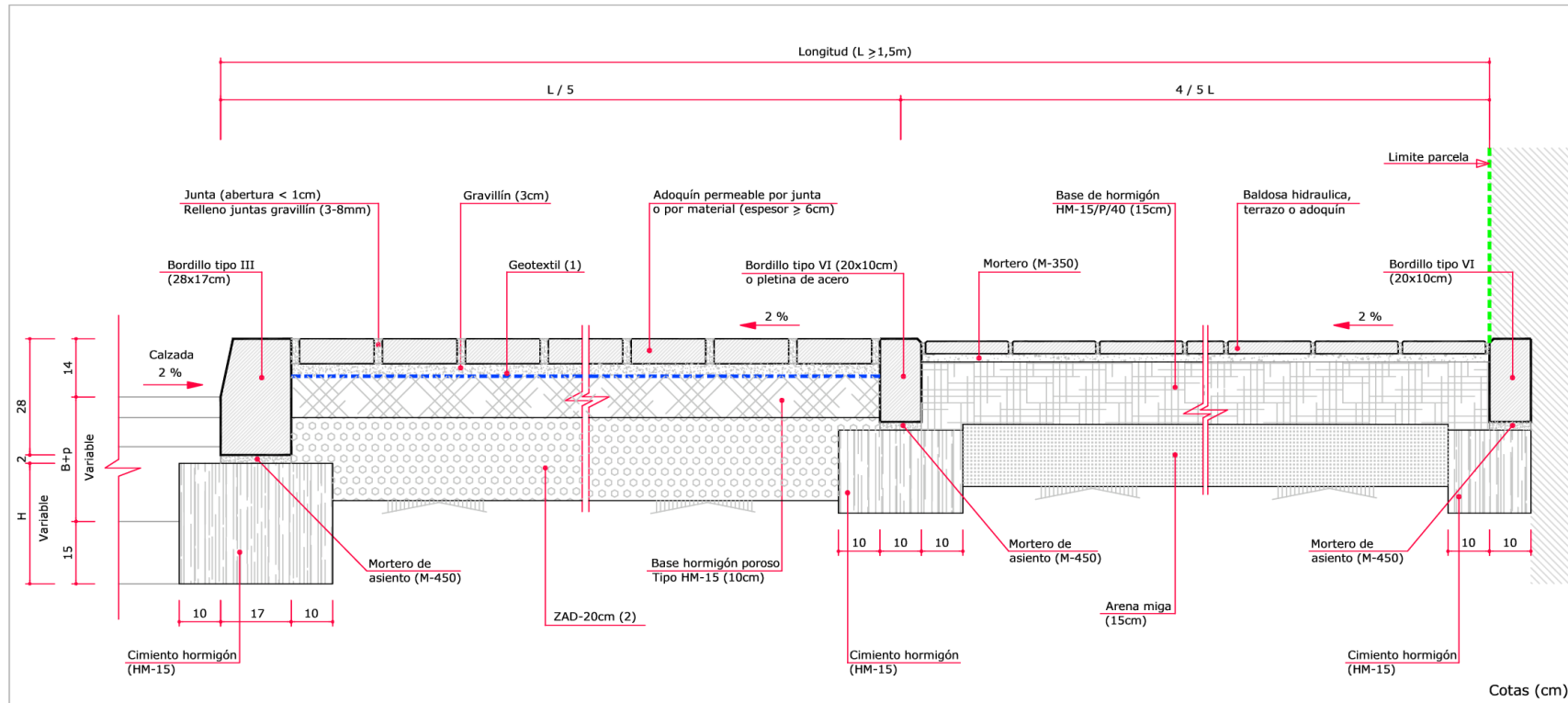
Ensayo de permeabilidad estático *in situ* sobre pavimento permeable con adoquines. Fuente: Ayto. de Madrid.

## ANEXO Nº 4: SECCIONES TIPO



- **Lámina de geotextil (1):**  
Geotextil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de Punzonado estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 - 2 kN; Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 60 - 150  $\mu m$ ; Permeabilidad vertical (según UNE - EN ISO 11058) de 100 - 130 mm/s; Masa por unidad de superficie (según UNE - EN ISO 9864) de 125 - 160 g/m<sup>2</sup> y alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.
- **ZAD-20cm (2):**  
Zahorra artificial drenante (art. 510 / PG-3).
- **Base de gravillín:**  
Granulometría 0-5% 1mm; 0-10% 2,3mm; 10-30% 4,75mm; 85-100% 9mm; 100% 10mm.
- **Base de grava:**  
Granulometría 0-5% 2,3mm; 0-10% 4,75mm; 25-60% 12,5mm; 95-100% 25mm; 100% 37mm.

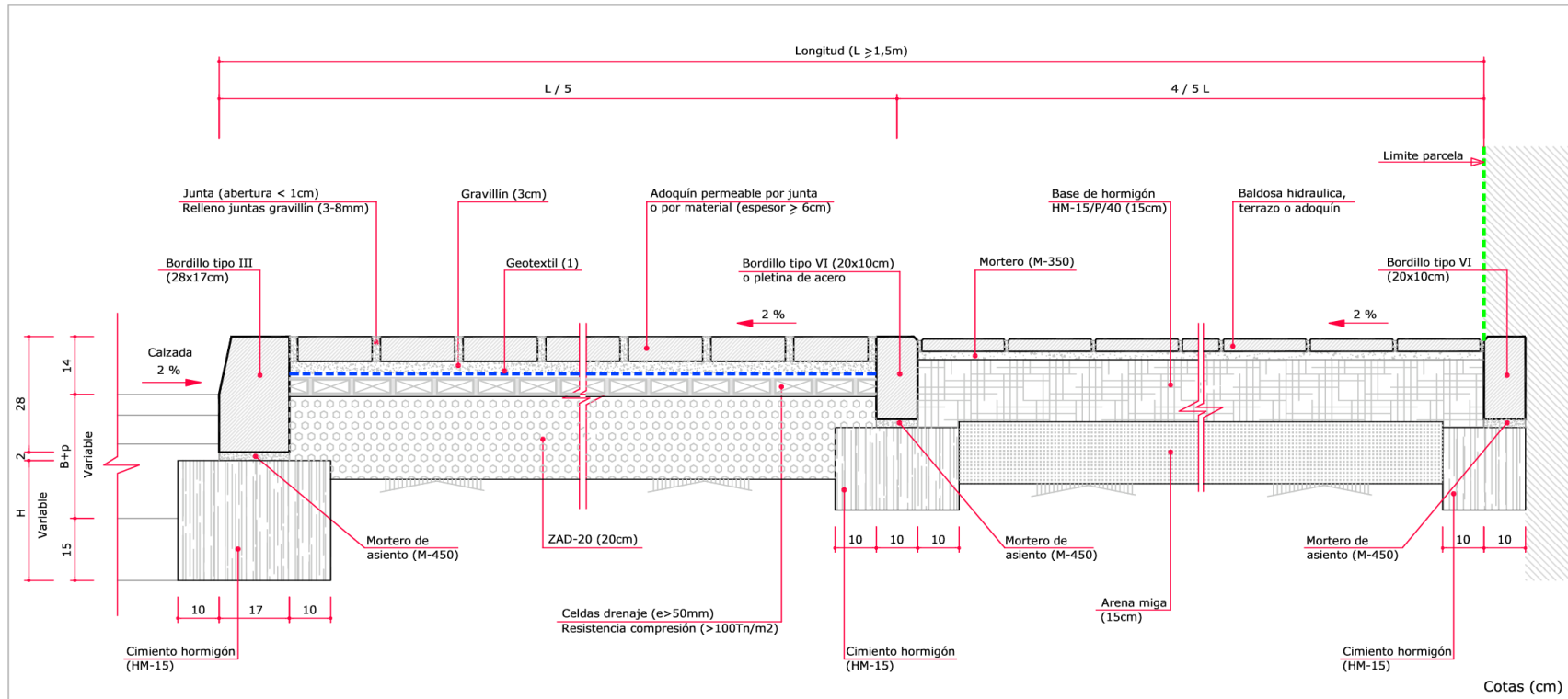
Acera con 20% de superficie permeable Tipo B.



- **Lámina de geotextil (1):**  
Geotextil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de Punción estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 - 2 KN; Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 60 - 150 µm; Permeabilidad vertical (según UNE - EN ISO 11058) de 100 - 130 mm/s; Masa por unidad de superficie (según UNE - EN ISO 9864) de 125 - 160 g/m<sup>2</sup> y alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.
- **ZAD-20cm (2):**  
Zahorra artificial drenante (art. 510 / PG-3).
- **Base de gravillín:**  
Granulometría 0-5% 1mm; 0-10% 2,3mm; 10-30% 4,75mm; 85-100% 9mm; 100% 10mm.
- **Hormigón poroso:**  
De consistencia fluida, acabado gris, con un contenido de cemento de 267-326 kg/m<sup>3</sup>; un ratio agua/cemento de 0,26-0,35; con una resistencia a flexotracción de (2,5-3 / 2) N/mm<sup>2</sup>, una resistencia a compresión de >(1/10) MPa y una capacidad drenante de >400l/min/m<sup>2</sup>, tamaño máximo de árido de 20mm con un 15-25% de huecos.

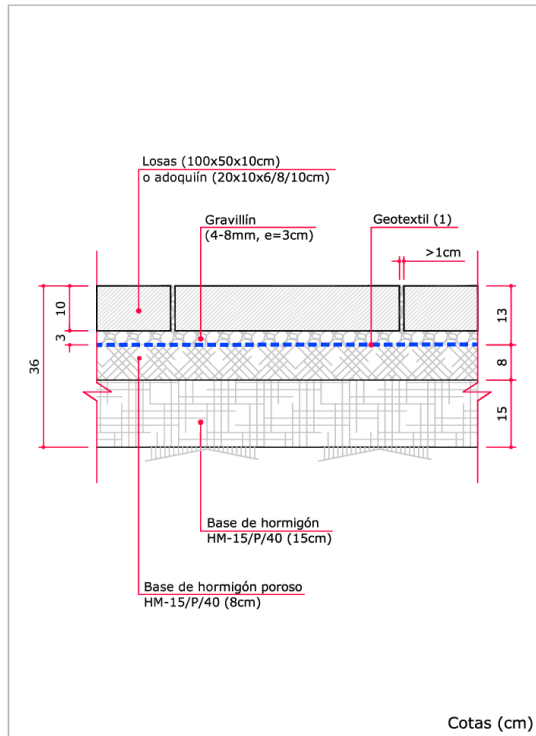


Acera con 20% de superficie permeable Tipo C.

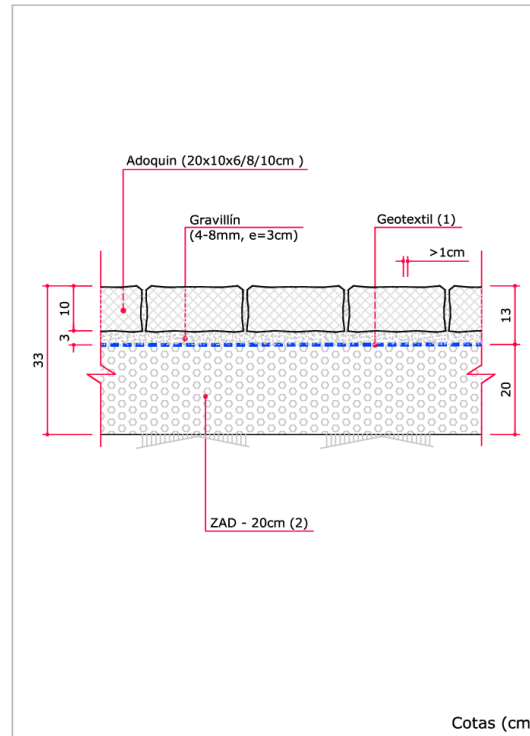


- **Lámina de geotextil (1):**  
Geotextil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de Punzonado estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 - 2 KN; Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 60 - 150 um; Permeabilidad vertical (según UNE - EN ISO 11058) de 100 - 130 mm/s; Masa por unidad de superficie (según UNE - EN ISO 9864) de 125 - 160 g/m<sup>2</sup> y alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.
- **ZAD-20cm (2):**  
Zahorra artificial drenante (art. 510 / PG-3).
- **Base de gravillín:**  
Granulometría 0-5% 1mm; 0-10% 2,3mm; 10-30% 4,75mm; 85-100% 9mm; 100% 10mm.
- **Base de grava:**  
Granulometría 0-5% 2,3mm; 0-10% 4,75mm; 25-60% 12,5mm; 95-100% 25mm; 100% 37mm.

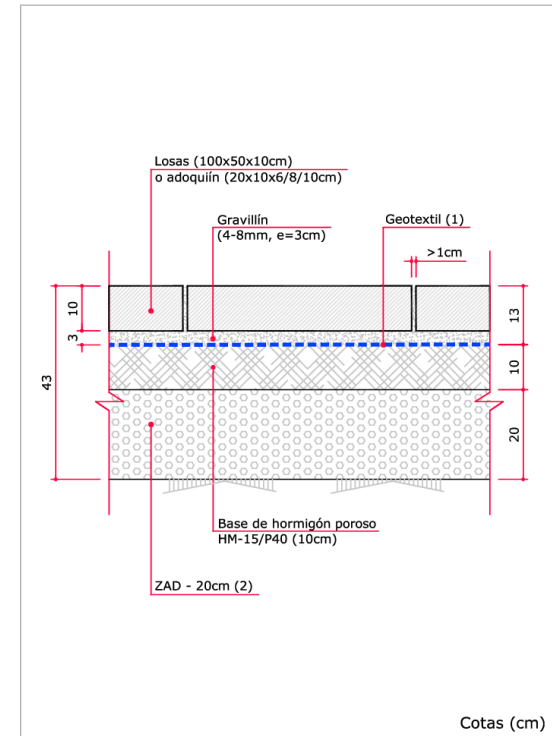
Secciones estructurales de firmes permeables en aceras y paseos.



Firme permeable por junta en acera o paseos  
(sin percolación al terreno)



Firme permeable por junta en acera o paseos  
(con percolación al terreno)

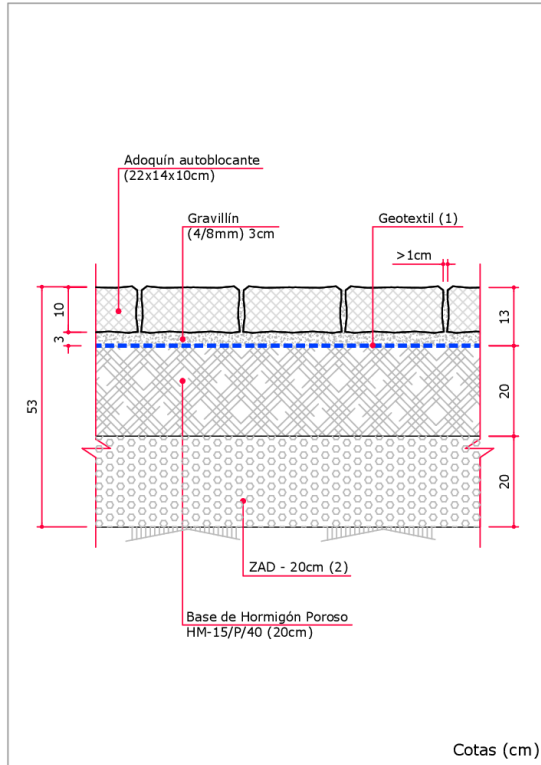


Firme permeable por junta en acera o paseo  
(con percolación al terreno)

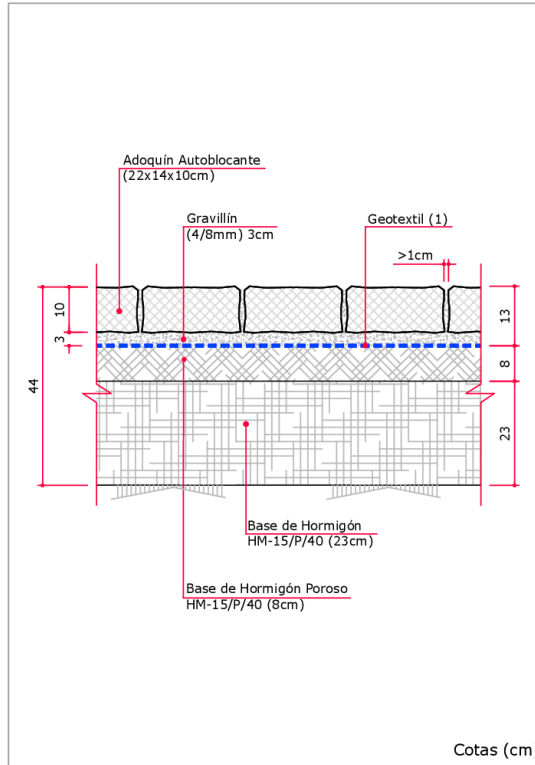


- **Lámina de geotextil (1):**  
Geotextil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de Punzonado estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 - 2 KN; Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 60 - 150  $\mu$ m; Permeabilidad vertical (según UNE - EN ISO 11058) de 100 - 130 mm/s; Masa por unidad de superficie (según UNE - EN ISO 9864) de 125 - 160 g/m<sup>2</sup> y alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.
- **ZAD-20cm (2):**  
Zahorra artificial drenante (art. 510 / PG-3).
- **Base de gravillín:**  
Granulometría 0-5% 1mm; 0-10% 2,3mm; 10-30% 4,75mm; 85-100% 9mm; 100% 10mm.
- **Base de grava:**  
Granulometría 0-5% 2,3mm; 0-10% 4,75mm; 25-60% 12,5mm; 95-100% 25mm; 100% 37mm.
- **Hormigón poroso:**  
De consistencia fluida, acabado gris, con un contenido de cemento de 267-326 kg/m<sup>3</sup>; un ratio agua/cemento de 0,26-0,35; con una resistencia a flexotracción de (2,5-3 / 2) N/mm<sup>2</sup>, una resistencia a compresión de  $>(\frac{15}{10})$  MPa y una capacidad drenante de  $>400$ l/min/m<sup>2</sup>, tamaño máximo de árido de 20mm con un 15-25% de huecos.

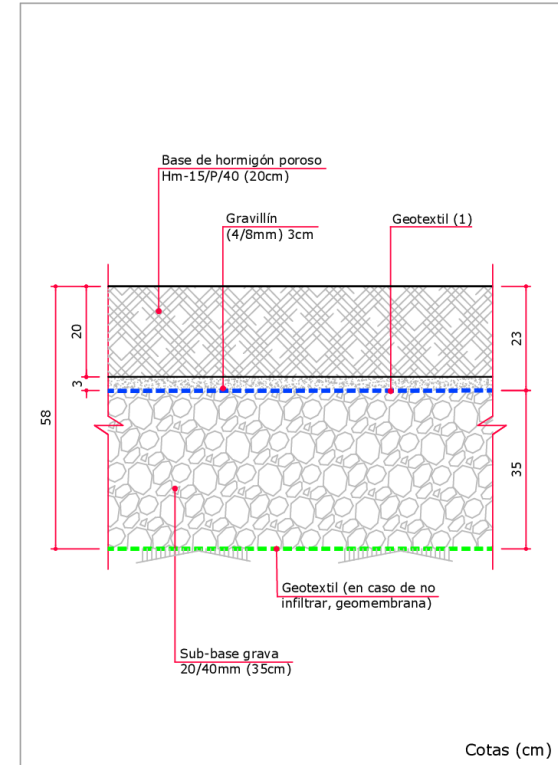
Secciones estructurales de firmes permeables en aparcamientos.



Firme permeable por junta en aparcamiento con tráfico ocasional (Con percolación al terreno)



Firme permeable por junta en aparcamiento (Sin percolación al terreno)

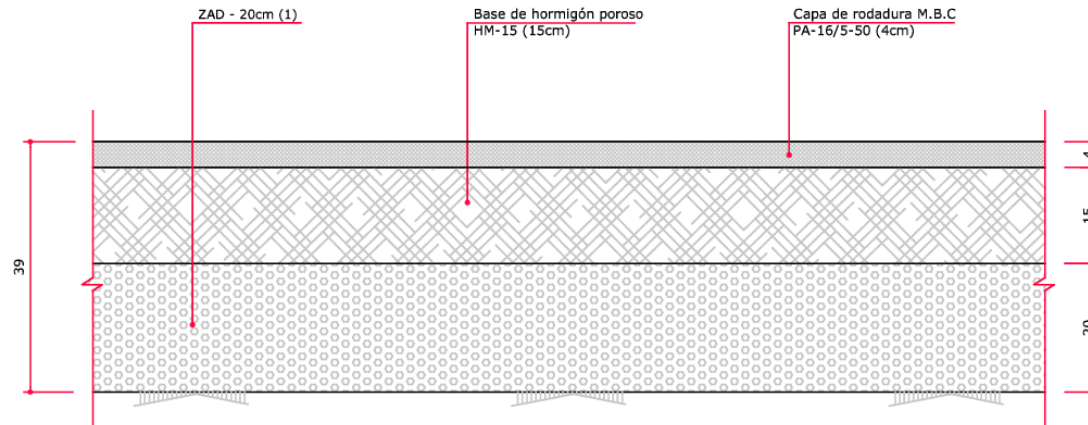


Firme permeable en aparcamiento de hormigón continuo poroso



- **Lámina de geotextil (1):**  
Geotextil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de Punzonado estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 - 2 KN; Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 60 - 150 um; Permeabilidad vertical (según UNE - EN ISO 11058) de 100 - 130 mm/s; Masa por unidad de superficie (según UNE - EN ISO 9864) de 125 - 160 g/m<sup>2</sup> y alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.
- **ZAD-20cm (2):**  
Zahorra artificial drenante (art. 510 / PG-3).
- **Base de gravillín:**  
Granulometría 0-5% 1mm; 0-10% 2,3mm; 10-30% 4,75mm; 85-100% 9mm; 100% 10mm.
- **Base de grava:**  
Granulometría 0-5% 2,3mm; 0-10% 4,75mm; 25-60% 12,5mm; 95-100% 25mm; 100% 37mm.
- **Hormigón poroso:**  
De consistencia fluida, acabado gris, con un contenido de cemento de 267-326 kg/m<sup>3</sup>; un ratio agua/cemento de 0,26-0,35; con una resistencia a flexotracción de (2,5-3 / 2) N/mm<sup>2</sup>, una resistencia a compresión de >(16) MPa y una capacidad drenante de >400l/min/m<sup>2</sup>, tamaño máximo de árido de 20mm con un 15-25% de huecos.

Sección estructural de firme para carril bici.

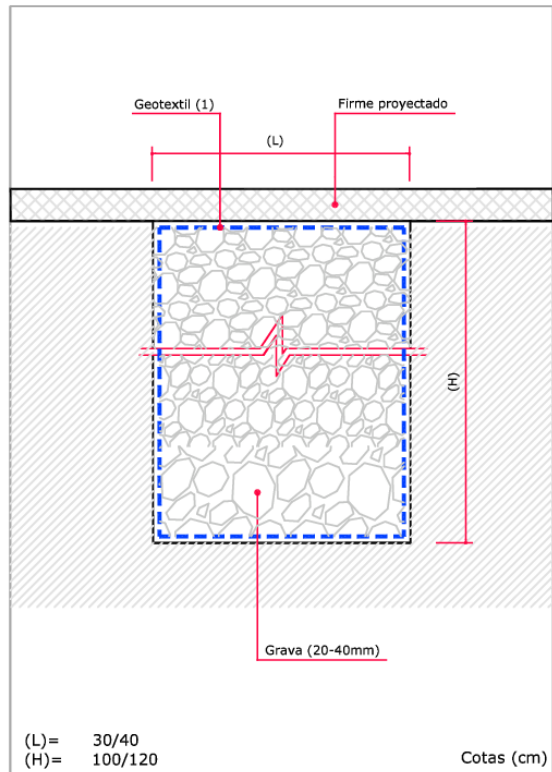


Cotas (cm)

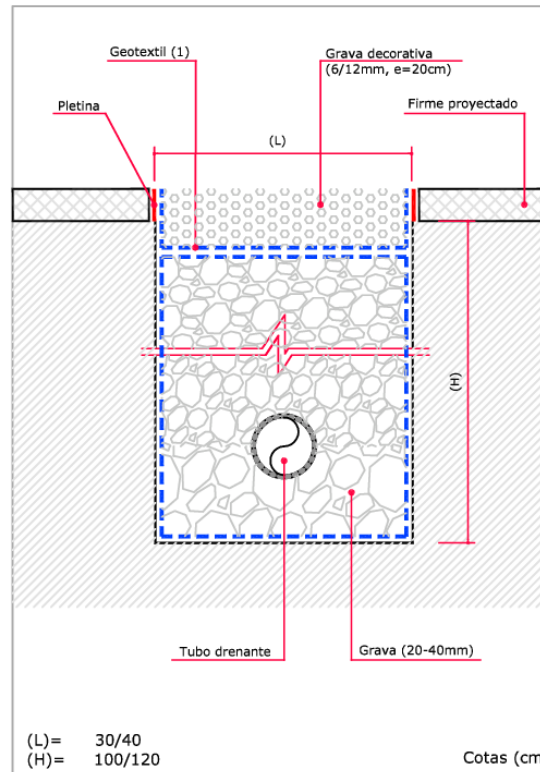


- **ZAD-20cm (1):**  
Zahorra artificial drenante (art. 510 / PG-3).
- **Hormigón poroso:**  
De consistencia fluida, acabado gris, con un contenido de cemento de 267-326 kg/m<sup>3</sup>; un ratio agua/cemento de 0,26-0,35; con una resistencia a flexotracción de (2,5-3 / 2) N/mm<sup>2</sup>, una resistencia a compresión de >(1/10) MPa y una capacidad drenante de >400l/min/m<sup>2</sup>, tamaño máximo de árido de 20mm con un 15-25% de huecos.

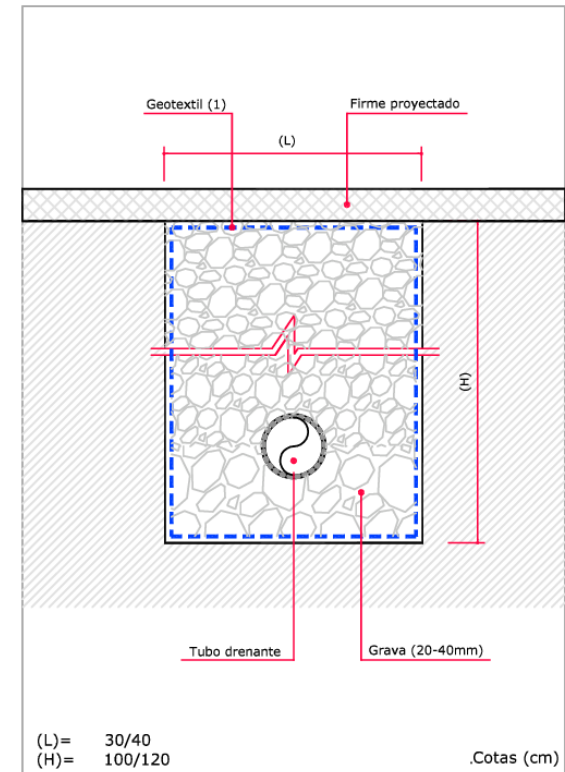
Secciones de zanjas de infiltración y drenes filtrantes.



Zanja de infiltración



Dren filtrante

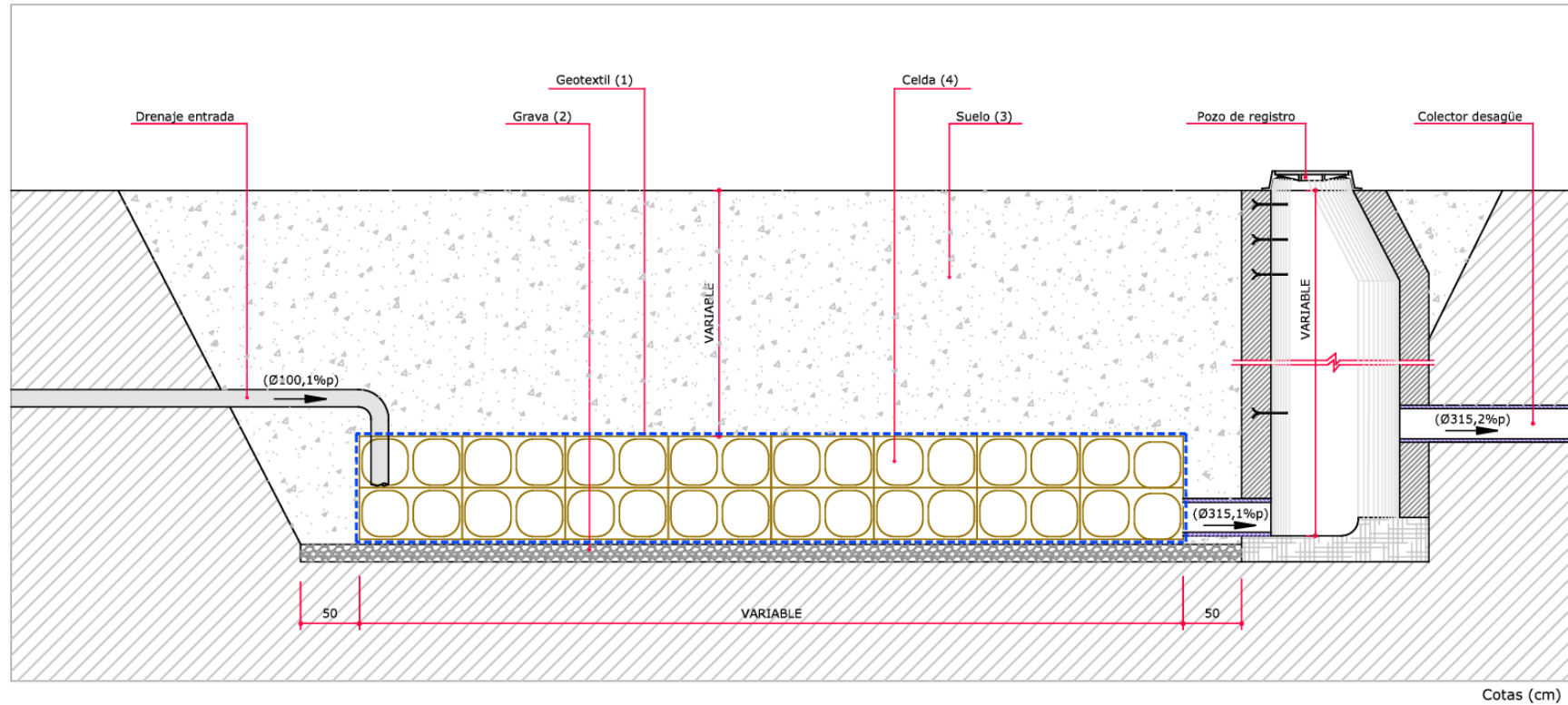


Dren filtrante (acabado transitable)



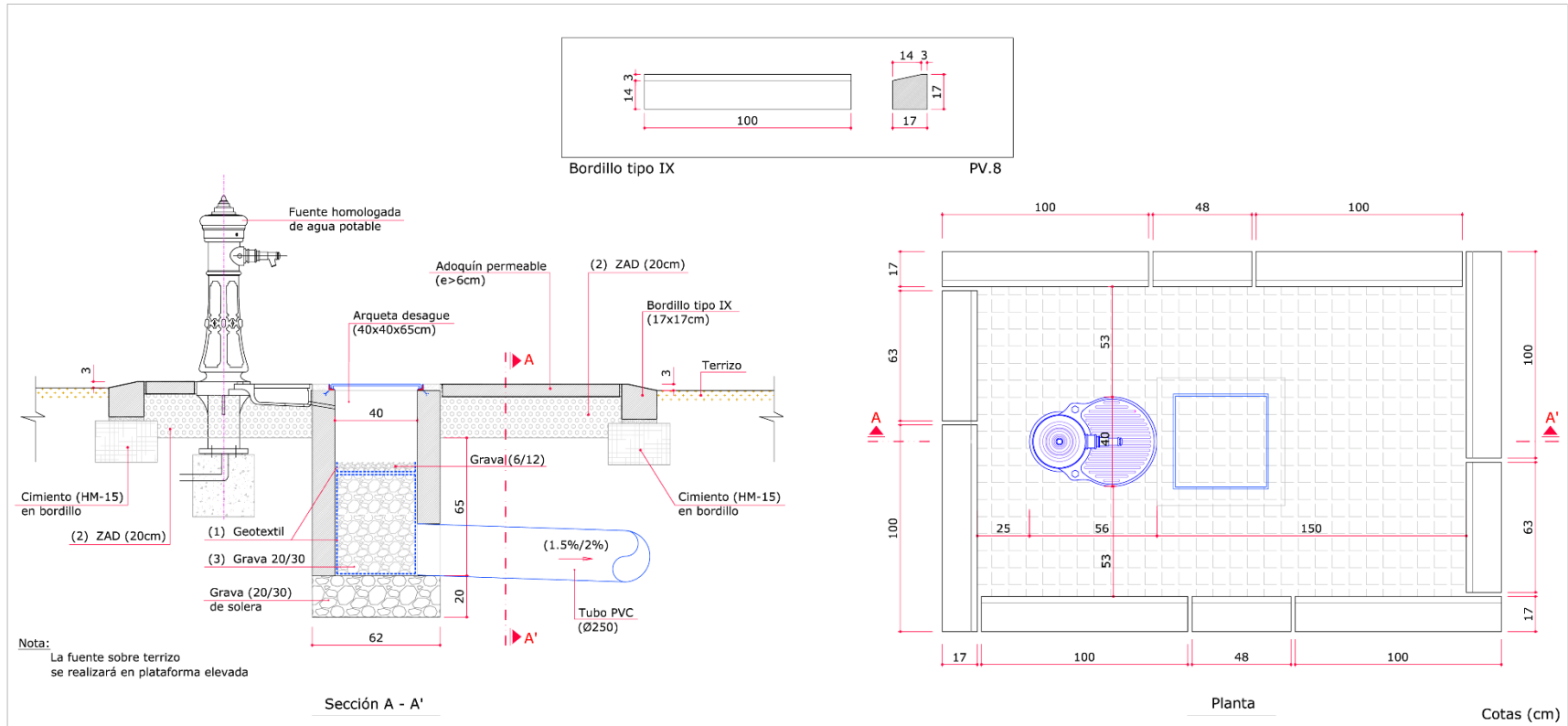
- **Lámina de geotextil (1):**  
Geotextil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de Punzonado estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 - 2 KN; Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 60 - 150  $\mu$ m; Permeabilidad vertical (según UNE - EN ISO 11058) de 100 - 130 mm/s; Alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.
- **Relleno de zanja de material granular:**  
Con grava de machaqueo o canto rodado de tamaño 4/20mm, sin finos, con >30% huecos, extendido, según condiciones del Pliego de Prescripciones técnicas.
- **Tubo dren:**  
Tubería de drenaje de PVC circular, corrugado, doble pared, con ranuras en posición circular a 360°, de (80-250mm) de diámetro nominal y rigidez angular mayor o igual a 4 KN/m<sup>2</sup>.
- **Nota:**  
La altura del tubo drenante, variará en función las capacidades o criterios de infiltración..

Conexión de celdas o cajas reticulares con la red de alcantarillado.



- **Lámina de geotextil (1):**  
Geotextil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de Punzonado estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 - 2 KN; Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 60 - 150  $\mu$ m; Permeabilidad vertical (según UNE - EN ISO 11058) de 100 - 130 mm/s; Masa por unidad de superficie (según UNE - EN ISO 9864) de 125 - 160 g/m<sup>2</sup> y alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.
- **Base de grava (2):**  
Granulometría 0-5% 2,3mm; 0-10% 4,75mm; 25-60% 12,5mm; 95-100% 25mm; 100% 37mm.
- **Suelo (3):**  
Adecuado o tolerable procedente de la excavación o de préstamo.
- **Celda (4):**  
Cajas o galerías de polipropileno (resistencia sin cargas soportadas), Volumen de huecos >90% .

Fuente de beber con conexión a red de drenaje.



- **Lámina de geotextil (1):**  
Geotextil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de Punzonado estático (CBR) (según UNE-EN ISO 12236) de 1,5 - 2 KN; Abertura característica (según UNE-EN ISO 12956) de 60 - 150 µm; Permeabilidad vertical (según UNE - EN ISO 11058) de 100 - 130 mm/s; Masa por unidad de superficie (según UNE - EN ISO 9864) de 125 - 160 g/m<sup>2</sup> y alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.
- **ZAD-20cm (2):**  
Zahorra artificial drenante (art. 510 / PG-3).
- **Grava (3):**  
El geotextil envuelve la grava  $\frac{3}{3}$  (excepto la grava de solera de la arqueta).
- **Tubo Ø250:**  
Tubería de drenaje de PVC circular, corrugado, doble pared, con ranuras en posición circular a 360°, de 250mm de diámetro nominal y rigidez angular mayor o igual a 4 KN/m<sup>2</sup>.
- **Base de grava:**  
Granulometría 0-5% 2,3mm; 0-10% 4,75mm; 25-60% 12,5mm; 95-100% 25mm; 100% 37mm.

