



Sistemas Urbanos de Drenaje
Sostenible en el AMSS

MÓDULO 3

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE



COAMSS

OPAMSS

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

La realización de esta Guía ha sido posible gracias a la inestimable colaboración de entidades participantes en el Comité Técnico Interinstitucional que da seguimiento a la cooperación técnica ATN/LA-15861; ES-T1247 como son la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), el Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOP) y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Asimismo, se agradece la contribución aportada a esta Guía Técnica por las empresas salvadoreñas Durman, Amanco y Holcim El Salvador, el Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto (ISCYC), la Universidad de El Salvador, El Comité Biofílico de El Salvador Building Council y el Jardín Botánico de La Laguna

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Redacción:
Ana Isabel Abellán

Colaboradores:
Julia Otaño
Luis Martín

Coordinación OPAMSS:
Liduvina Hernández
Ingrid Alfaro
Eduardo García

Financiada con recursos de la Comisión Europea a través de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las opiniones expresadas en él no reflejan necesariamente la opinión oficial de la Unión Europea ni de la AECID o el BID.

Los recursos para elaborar esta Guía Técnica proceden de la Facilidad de Inversiones para América Latina (LAIF) de la Unión Europea. En el marco de este instrumento de financiamiento, la Unión Europea firmó con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) un Acuerdo de Delegación para la ejecución del proyecto regional “Promover la adaptación al cambio climático y la gestión integral de los recursos hídricos en el sector de agua y saneamiento en América Latina en el marco del Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS)”, el cual establece que las actividades relacionadas con asistencias técnicas serán ejecutadas a través del BID. El presente documento hace parte de la Cooperación Técnica “Apoyo a la planificación Estratégica del sector de Drenaje Pluvial en El Salvador (ES-T1247)”.

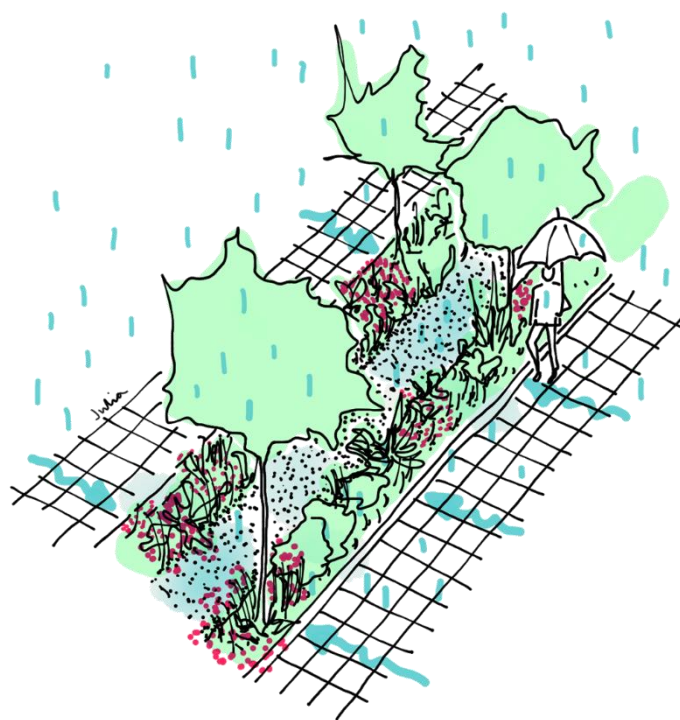
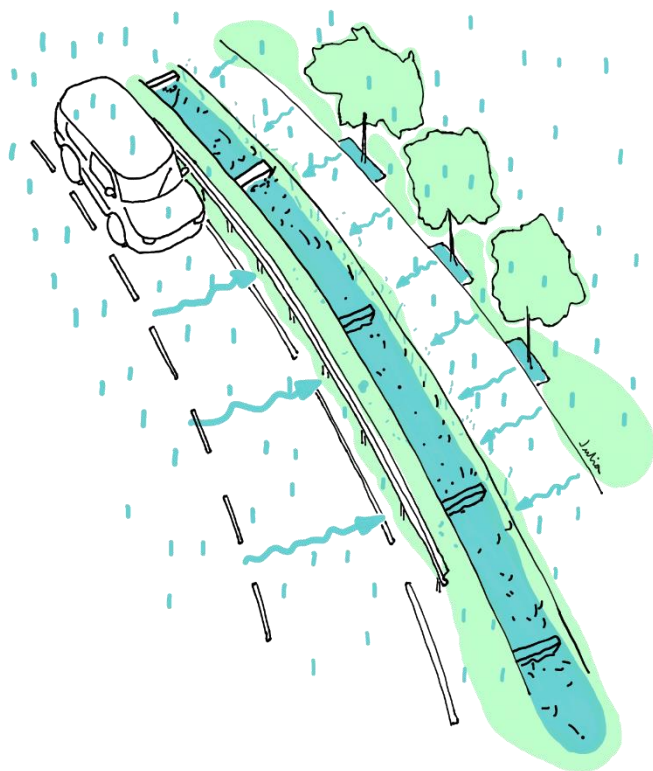


Hoja dejada intencionadamente en blanco

Módulo 1. Marco conceptual de los SUDS en el AMSS		
	Capítulo 0	Punto de partida en la implantación de SUDS en el AMSS
	Capítulo 1	Marco conceptual de los SUDS
		Bibliografía
Módulo-2. El proceso de diseño de SUDS en el AMSS		
	Capítulo 2	El proceso de diseño de SUDS en el AMSS
	Capítulo 3	Objetivos de los SUDS
	Capítulo 4	Fase 1: Caracterización de la zona de trabajo
	Capítulo 5	Fase 2: Creación de un modelo conceptual
	Capítulo 6	Fase 3: Proyecto SUDS
	Capítulo 7	Fase 4: Comprobación hidráulica del proyecto-informe de resultados
	Capítulo 8	Recomendaciones de diseño
		Bibliografía
Módulo 3. Sistemas urbanos de Drenaje Sostenible		
	Capítulo 9	Características básicas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible
	Capítulo 10	Depósitos de lluvia
	Capítulo 11	Techos verdes
	Capítulo 12	Pozos de infiltración
	Capítulo 13	Zanjas de infiltración

	Capítulo 14	Superficies permeables
	Capítulo 15	Lagunas de infiltración
	Capítulo 16	Cunetas verdes
	Capítulo 17	Áreas de biorretención
	Capítulo 18	Franjas filtrantes
	Capítulo 19	Depósitos de detención
	Capítulo 20	Estanques de laminación
	Capítulo 21	Medidas no estructurales
		Bibliografía
Módulo 4. Diseño de SUDS para el AMSS		
	Capítulo 22	A nivel domiciliario
	Capítulo 23	Intervención vial
	Capítulo 24	En espacio verde
	Capítulo 25	En urbanización
Módulo 5. Anexos		
		Dónde solicitar información
		Cómo hacer un ensayo de permeabilidad del terreno
		Secciones tipo
		Herramientas
		Fichas de mantenimiento

Características básicas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible Capítulo 9



COAMSS
OPAMSS

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Características básicas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Los sistemas de drenaje urbanos sostenible abarcan una gran variedad de elementos o técnicas que pueden catalogarse de diferentes formas dependiendo de varios factores, como por ejemplo de si requieren de alguna clase de construcción, si actúan donde se genera la escorrentía o aguas abajo, de cómo tratan la contaminación del agua, etc.

Un primer tipo de clasificación, y la más simple de todas, es la que distingue las medidas entre estructurales y no estructurales:

- Las medidas estructurales son aquellas que gestionan la escorrentía mediante actuaciones que contengan algún elemento constructivo
- Las no estructurales son las que no precisan ni una actuación directa sobre la red ni la construcción de infraestructura alguna.

A su vez, las medidas estructurales pueden dividirse según el principal proceso que se produce en ellas:

- Filtración, ocurre cuando se hace pasar el agua a través de diferentes medios como puede ser un geotextil, una superficie con grama o un lecho de gravas, este proceso sirve para retener partículas contaminantes, pero no es efectivo en el control del volumen de escorrentía.
- Infiltración, se produce cuando se permite que el agua de lluvia se introduzca por los poros del subsuelo de manera que el flujo que iría escurriendo por la superficie del terreno se transforma en flujo subterráneo. Este proceso reduce la cantidad total de escorrentía generada.
- Detención, se produce cuando se almacena durante un breve periodo de tiempo la escorrentía antes de que se incorpore a la red de drenaje o se vierta al medio natural.
- Retención, es el almacenamiento durante un período de tiempo prolongado de la escorrentía, parte de ese volumen almacenado es susceptible de evaporarse, infiltrarse o ser captado por la vegetación.

Características básicas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

- Recolección, es la cosecha de las aguas lluvias para su posterior consumo.
- Otros tratamientos de la calidad de la escorrentía, en muchas técnicas se retienen y eliminan partículas en suspensión por procedimientos diferentes a la filtración como la bioacumulación, el metabolismo bacteriano, la absorción radicular, ...

O también, según el lugar de la cadena de gestión de control de aguas lluvias donde se localicen:

- Medidas de control en origen o aguas arriba: Métodos de control que se aplican “in situ”, o sea, en el mismo lugar donde se genera la escorrentía.
- Medidas de control en vertido o aguas abajo, son las que se emplean sobre la escorrentía una vez generada de forma previa a su vertido al medio.

Éstas no son las únicas formas de clasificar los diferentes SUDS y, en la mayoría de los casos, un mismo SUDS puede pertenecer a una o más categorías. Por ejemplo, un área de biorretención puede ser un sistema de detención, de infiltración y de filtración.

Para ayudar a visualizar las principales características que categorizan a este tipo de técnicas estructurales, se muestran las siguientes tablas que resumen la información de cada técnica estructural contemplada en esta Guía de Diseño. Se han clasificado según el principal proceso que tienen especificando además qué procesos pueden darse en cada una de ellas, lo que no significa que necesariamente hayan de darse todos.

Técnicas de drenaje urbano sostenible cuyo principal uso es el control de las aguas lluvias en origen

Cubiertas verdes: Sistemas multicapa, con vegetación que se localizan en las cubiertas de edificios.

Superficies permeables: Superficies de diferente naturaleza que permiten que las aguas lluvias y la escorrentía pasen a su través.

Depósitos de recolección de aguas lluvia: Son depósitos que se emplean para recoger y almacenar el agua de precipitación.

Principales características		Techos verdes	Recolección de aguas lluvias	Superficies permeables
Localización en la cadena de gestión	Pretratamiento	X		X
	Control en origen	X	X	X
	Medida de transporte			
	Control local			
	Control regional			
Principales procesos dentro del SUDS	Infiltración			X
	Filtración	X		X
	Almacenamiento	X	X	X
	Transporte			
Procesos de descontaminación	Adsorción	X		X
	Biodegradación	X		X
	Filtración			X
	Precipitación			
	Sedimentación			X
	Volatilización			
Objetivos principales	Almacenar agua de lluvia		X	
	Mejorar la calidad ambiental	X		X
	Descontaminar	X		X

Características básicas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Principales características		Techos verdes	Recolección de aguas lluvias	Superficies permeables
	Recargar el acuífero			En algunos casos
	Ralentizar la escorrentía	X		X
Rendimientos	Reducción del caudal punta	Medio	Alto	Bueno
	Reducción del volumen de escorrentía	Medio	Alto	Bueno
	Tratamiento de calidad de agua	Bueno	Escaso	Bueno
	Beneficio social/urbano	Bueno	Escaso	Bajo
	Beneficio ecológico	Medio	Escaso	Bajo

Tabla 9. 1. Principales características de las técnicas de control en origen. Fuente: Elaborada a partir de datos de CIRIA (2015) y Tragsa (2015)

Técnicas de drenaje urbano sostenible cuyo principal proceso sobre la escorrentía es la filtración

Áreas de biorretención: Áreas vegetadas, algo deprimidas con un suelo modificado para favorecer la filtración y, en muchos casos, la infiltración de la escorrentía en el terreno.

Cunetas verdes: Son canales amplios y poco profundos con vegetación, con la función de transportar la escorrentía.

Franjas filtrantes: Áreas uniformes de pendiente suave cubiertas de una densa grama.

Principales características		Áreas de biorretención	Cunetas verdes	Franjas filtrantes
Localización en la cadena de gestión	Pretratamiento			
	Control en origen	X	X	X
	Medida de transporte		X	
	Control local	X	X	X
	Control regional			
Principales procesos dentro del SUDS	Infiltración	X		
	Filtración	X	X	X
	Almacenamiento	X		
	Transporte		X	X
Procesos de descontaminación	Adsorción	X	X	
	Biodegradación	X	X	X
	Filtración	X	X	X
	Precipitación			
	Sedimentación	X	X	
	Volatilización			
Objetivo principal	Almacenar agua de lluvia			
	Mejorar la calidad ambiental	X	X	X
	Descontaminar	X	X	

Características básicas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Principales características		Áreas de biorretención	Cunetas verdes	Franjas filtrantes
	Recargar el acuífero			
	Ralentizar la escorrentía		X	X
Rendimientos	Reducción del caudal punta	Medio	Medio	Escaso
	Reducción del volumen de escorrentía	Medio (alto si hay infiltración)	Medio	Escaso
	Tratamiento de calidad de agua	Bueno	Bueno	Medio
	Beneficio social/urbano	Bueno	Medio-bajo	Medio
	Beneficio ecológico	Medio	Medio	Medio

Tabla 9. 2. Principales características de las técnicas cuyo principal proceso sobre la escorrentía es la filtración. Fuente: Elaborada a partir de datos de CIRIA (2015) y Tragsa (2015)

Técnicas de drenaje urbano sostenible cuyo principal proceso sobre la escorrentía es la infiltración

Pozos de infiltración: Son pozos de poca profundidad rellenos de material granular o celdas plásticas, en los que se retiene la escorrentía mientras que se infiltra en el subsuelo.

Zanjas de infiltración: Excavaciones poco profundas y alargadas rellenas de gravas o celdas plásticas que crean un almacenamiento subterráneo temporal para la infiltración de la escorrentía.

Lagunas de infiltración: depresiones en el terreno de forma irregular y cubiertas de vegetación que almacenan e infiltran gradualmente la escorrentía generada en las superficies adyacentes.

Principales características		Pozos de infiltración	Zanjas de infiltración	Lagunas de infiltración
Localización en la cadena de gestión	Pretratamiento			
	Control en origen	X	X	
	Medida de transporte		X	
	Control local	X		X
	Control regional			
Principales procesos dentro del SUDS	Infiltración	X	X	X
	Filtración	X	X	X
	Almacenamiento	X	X	X
	Transporte			
Procesos de descontaminación	Adsorción			
	Biodegradación			
	Filtración	X	X	X
	Precipitación			
	Sedimentación			
	Volatilización			
Objetivo principal	Almacenar agua de lluvia			

Características básicas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Principales características		Pozos de infiltración	Zanjas de infiltración	Lagunas de infiltración
	Mejorar la calidad ambiental			
	Descontaminar	X	X	X
	Recargar el acuífero	X	X	X
	Ralentizar la escorrentía			
Rendimientos	Reducción del caudal punta	Bueno	Medio	Medio
	Reducción del volumen de escorrentía	Bueno	Alto	Bueno
	Tratamiento de calidad de agua	Bueno	Alto	Bueno
	Beneficio social/urbano	Bajo	Bajo	Bueno
	Beneficio ecológico	Bajo	Bajo	Bueno

Tabla 9. 3. Principales características de las técnicas cuyo principal proceso sobre la escorrentía es la infiltración. Fuente: Elaborada a partir de datos de CIRIA (2015) y Tragsa (2015)

Técnicas de drenaje urbano sostenible cuyo principal proceso sobre la escorrentía es la detención/retención

Depósitos de detención: Son depósitos que almacenan de temporalmente la escorrentía generada aguas arriba, laminando los caudales punta y atenuando los picos de caudal.

Estanques de laminación: Son lagunas artificiales que se emplean en época húmeda para almacenar y laminar la escorrentía generada y que en época seca pueden tener otros usos.

Principales características		Depósitos subterráneos de detención	Estanques de laminación
Localización en la cadena de gestión	Pretratamiento		
	Control en origen	X	
	Medida de transporte		
	Control local	X	X
	Control regional	X	X
Principales procesos dentro del SUDS	Infiltración		X
	Filtración		
	Almacenamiento	X	X
	Transporte		
Procesos de descontaminación	Adsorción		X
	Biodegradación		X
	Filtración		X
	Precipitación	X	
	Sedimentación	X	X
	Volatilización		
Objetivo principal	Almacenar agua de lluvia	X	X
	Mejorar la calidad ambiental		X
	Descontaminar		X

Características básicas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Principales características		Depósitos subterráneos de detención	Estanques de laminación
	Recargar el acuífero		
	Ralentizar la escorrentía	X	
Rendimientos	Reducción del caudal punta	Alto	Bueno
	Reducción del volumen de escorrentía	Escaso	Escaso (si no hay infiltración)
	Tratamiento de calidad de agua	Medio	Bueno
	Beneficio social/urbano	Alto	Bueno
	Beneficio ecológico	Bajo	Bueno

Tabla 9. 4. Principales características de las técnicas cuyo principal proceso sobre la escorrentía es la retención/detención. Fuente: Elaborada a partir de datos de CIRIA (2015) y Tragsa (2015)]



Sistemas Urbanos de Drenaje
Sostenible en el AMSS



DEPÓSITOS PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Capítulo 10



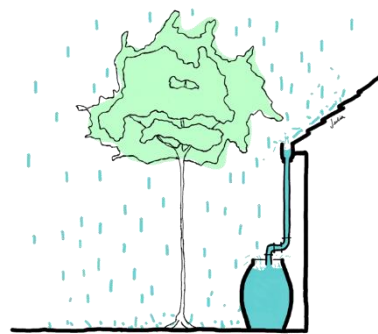
COAMSS
OPAMSS

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Depósitos para la recolección de Aguas Lluvias

Capítulo 10



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Son depósitos que se emplean para recolectar y almacenar el agua de lluvia que cae principalmente en la cubierta de una edificación (aunque también puede ser otra superficie de captación).

Pueden ser subterráneos o superficiales y estar contruidos de materiales diferentes en función de su capacidad y su localización. Existen con diferentes niveles de complejidad, desde un barril al que va a parar el agua de la cubierta mediante canaleta y tubo y desde que se saca el agua con un grifo o un cubo; hasta sistemas integrados con el abastecimiento de agua no potable para consumo (cisternas del baño, depósito para limpieza, ...)

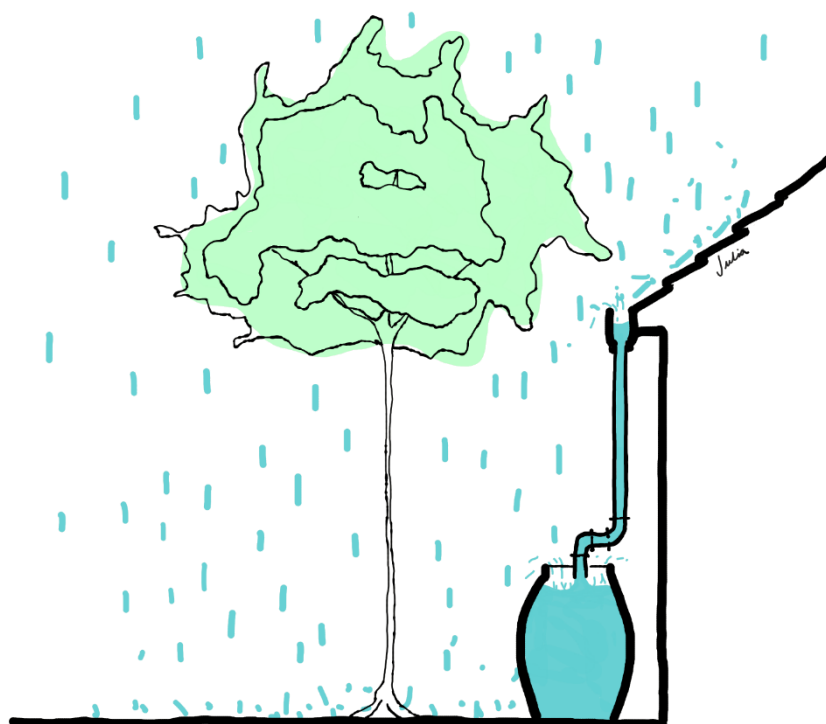
Dentro de este tipo de elementos se pueden diferenciar entre cisternas o tanques y barriles de lluvia. Los primeros son dispositivos de almacenamiento grandes que recogen agua para ser utilizada para el suministro de los inodoros, agua para limpiar o para el riego. Y los segundos son más pequeños, suelen estar en jardines de viviendas unifamiliares, no suelen llevar asociado un sistema de conducción del agua recolectada. El sistema puede necesitar un filtro para impedir la entrada de las partículas presentes en aguas.



¿Cómo funcionan?

El agua que precipita sobre el techo va a parar a unas canaletas que la conducen hacia un bajante que desemboca en el depósito de recolección de lluvia. Ahí se conserva para, posteriormente, darle algún uso, como sería agua de riego, para cisternas de baño, agua para lavar, Con este aprovechamiento se consigue reducir el gasto de agua de la red de abastecimiento.

También pueden servir para disminuir la presión sobre la red municipal ya que evitan que las aguas lluvias acaben en el alcantarillado. Y son una alternativa para abastecerse de agua en la época seca del año, se almacena en época lluviosa para su uso posterior.



Control de la cantidad de agua

Estos sistemas ofrecen una excelente función de reducción de la escorrentía dentro de una zona en caso de estar ampliamente extendido su uso.

Control de la calidad del agua

La recolección de aguas lluvias no proporciona una mejora de la calidad de agua, en ellos se dan simplemente un proceso de filtración para retener las partículas más gruesas y sedimentación ya dentro del depósito. Por lo que hay que tener

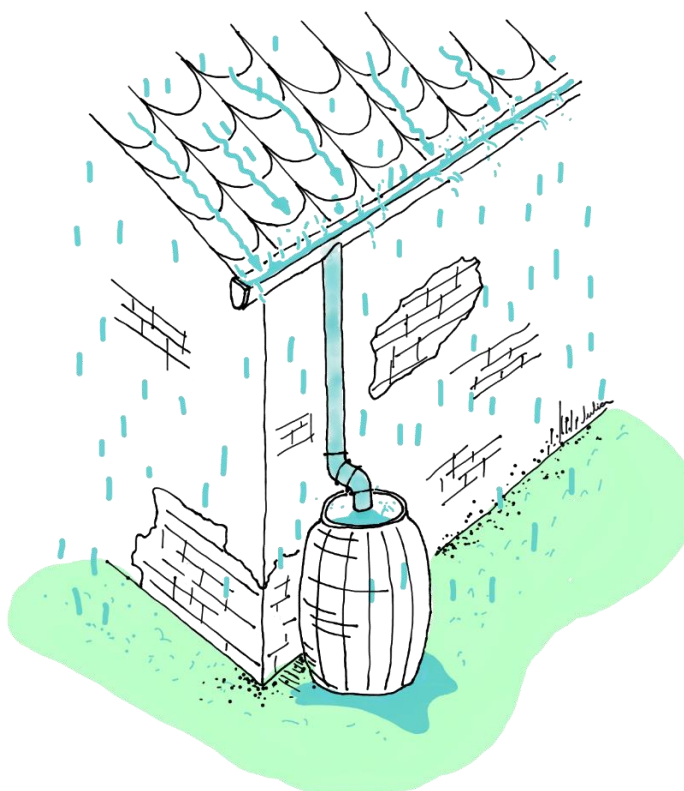


Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

en cuenta que la superficie aportante ha de ser relativamente “limpia” (no ha de contener hidrocarburos ni aceites, ...) por eso se emplea las aguas precipitadas sobre techos.

Valor paisajístico y medioambiental

Los sistemas no proporcionan una mejora del paisaje, aunque los barriles colocados de forma superficial en los jardines pueden diseñarse de manera que aporten un motivo estético al jardín, pero eso es algo a nivel particular.



Componentes básicos de un depósito de recolección de aguas lluvia

Este tipo de depósitos pueden tener diferentes formas y ser de diferentes materiales: de hormigón, prefabricados plásticos, barriles de madera, incluso, de celdas plásticas envueltas en una geomembrana. Dada la variedad de elementos que hay en el mercado, se pueden buscar soluciones prefabricadas, en cuyo caso el fabricante indicará al proyectista los volúmenes y caudales de gestión, así como los requerimientos específicos de mantenimiento y las garantías de cada componente.

Depósitos para la recolección de Aguas Lluvias



Los componentes variarán en cada caso según del sistema a instalar y de los requerimientos de este. No es lo mismo una recolección en una casa para el riego del jardín, que puede realizarse conectando el bajante a un barril preparado para ello, que la recolección para incluir el agua dentro del sistemas de abastecimiento de un edificio, que sería más compleja. Los elementos comunes a cualquier sistema de recolección de aguas lluvias serían:

1. Superficie de captación (suele ser un tejado)
2. Elementos de conducción de las aguas lluvias como canaleta y bajantes
3. Filtro o rejilla para retener sólidos arrastrados desde la cubierta
4. Depósito de recolección de pluviales
5. Toma de agua almacenada
6. Rebosadero o salida del excedente de aguas

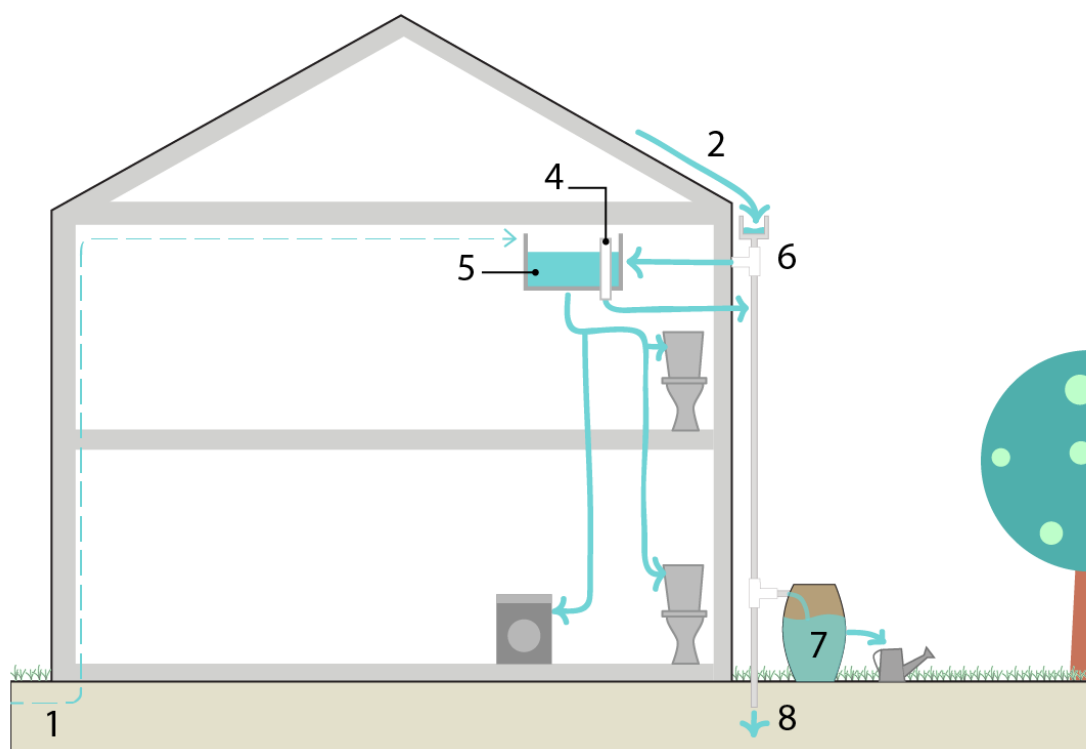


Figura 10. 1. Esquema de depósito de pluviales incorporado al abastecimiento de usos no potables de una casa y con depósito exterior. 1. Entrada de agua de la red de abastecimiento. 2. Escorrentía del techo. 4. Salida de emergencia de un depósito que funciona por gravedad. 5. Depósito de aguas lluvias. 6. Alimentación de aguas lluvias. 7. Depósito externo. 8. Salida del excedente a infiltración Fuente: Adaptación de CIRIA (2015).

Además, en los sistemas de recolección de pluviales más sofisticados, también aparecen otros componentes, como sistemas de bombeo, elementos anti-



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

turbulencia a la entrada o sistemas automáticos de regulación (equipos de control, sensores de nivel de agua, bombeo para la salida del agua...). La complejidad del sistema dependerá (además de los recursos económicos disponibles para el proyecto) de si el agua recolectada entra en la red de abastecimiento para su reúso o si la salida del agua se realiza de forma independiente a la red (se saca con un cubo o mediante un grifo).

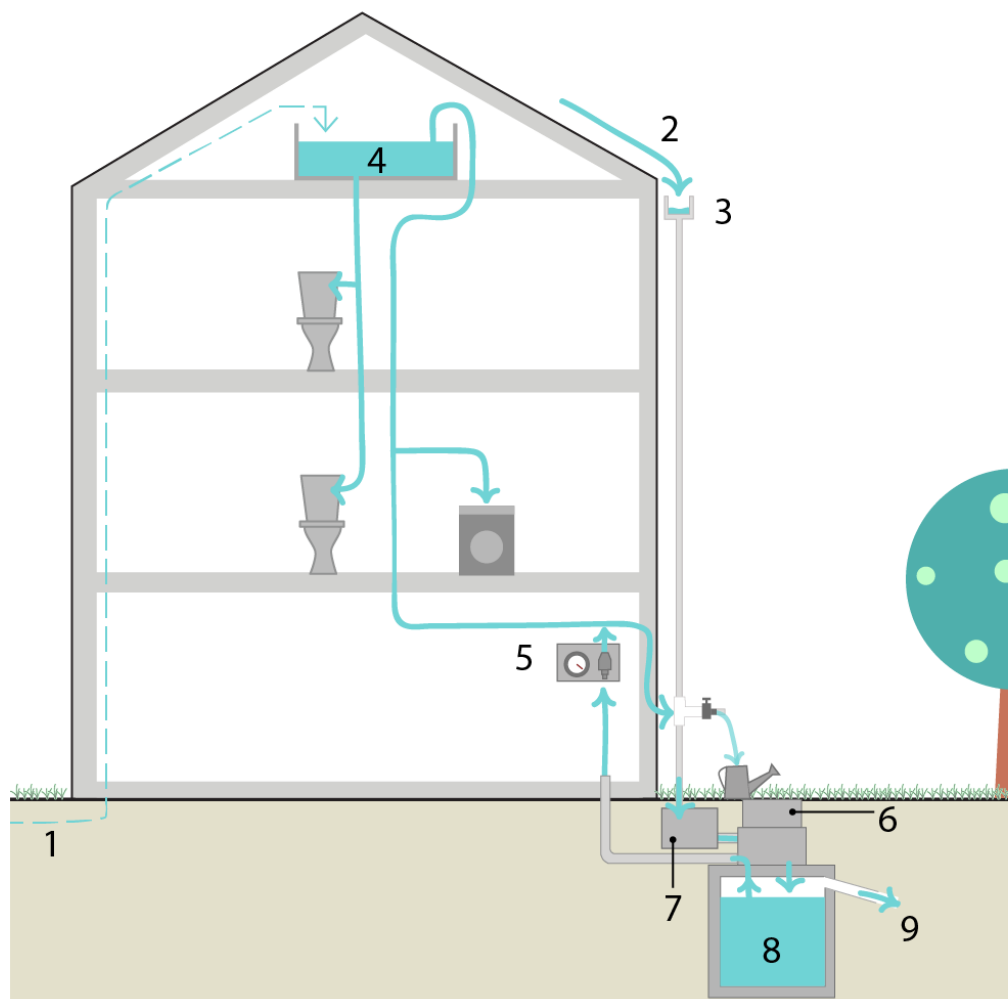


Figura 10. 2. Esquema de depósito de pluviales que funciona con bombeo. 1. Entrada de agua de la red de abastecimiento. 2. Escorrentía del techo. 4. Depósito que funciona por gravedad. 5. Sistema de control. 6. Salida directa desde bajante. 7. Filtro. 8. Depósito que funciona por bombeo. 9. Salida de excedente Fuente: Adaptación de CIRIA (2015)..



• Usos típicos Recogida de agua de las cubiertas de los edificios para su posterior uso. En interior de edificios para cisternas de inodoros, lavado de suelos y lavadora (aconsejable un tratamiento complementario) En exterior de edificios para regar, lavado de suelos o lavado de vehículos. También se le pueden dar usos industriales.	
• Ventajas: - Los depósitos de lluvia pueden suponer una nueva fuente del agua como recurso (para limpieza, riego...), reduciendo su demanda de la red de abastecimiento. - Reduce el pico del hidrograma en la red de microdrenaje al retener parte del agua de lluvia. - Si el agua recogida no es para consumo directo, no necesita un tratamiento, por lo que la instalación del sistema es barata.	• Limitaciones: - Si hay que instalar un sistema de tratamiento, se encarece bastante. - A veces se requiere de un sistema de bombeo. - Estéticamente no suelen ser atractivos.
• Requisitos de mantenimiento: - Hay que inspeccionarlos y limpiarlos periódicamente.	• Rendimiento: - Reducción del caudal punta: Depende del diseño - Reducción de volumen: Depende del diseño - Tratamiento de calidad de agua: Escaso - Potencial beneficio social/urbana: Escaso - Potencial ecológico: Escaso

Tabla 10. 5. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA (2015)



02. DISEÑO

Consideraciones en el diseño

Localización

Los depósitos de pluviales pueden ponerse bajo tierra de manera que no requerirían de espacio en la superficie (aunque en ese caso se requerirá de bombeo). Para evitar riesgo de contaminación del agua en su trayecto al depósito y abaratar en medios de conducción, es recomendable que se sitúen cerca de los puntos de recogida y de consumo, aunque pueden localizarse en multitud de espacios, como azoteas, bajo estacionamientos, entre edificios, lo idóneo es que queden protegidos de la luz y el calor, para evitar la proliferación de bacterias.

Área de captación

La superficie del área de captación de aguas lluvias dependerá del volumen de agua que se quiera recoger. Aunque la disponibilidad de la suficiente superficie para recolectar ese volumen de aguas lluvias puede ser un factor limitante. Esta área, salvo por operaciones de mantenimiento, no será transitable. Además, habrá que tener en cuenta las limitaciones de las cubiertas verdes que aportan nutrientes; los tejados asfálticos que aportan hidrocarburos o los tejados metálicos que aportan iones metálicos, así como las que puedan tener otros tipos de superficies.

Filtros

Antes de entrar en los depósitos, las aguas lluvias deben ser filtradas para evitar la entrada de partículas que pueden mermar el funcionamiento del sistema y empeorar la calidad del agua almacenada. Los filtros han de estar adaptados a la naturaleza del área de captación (no será lo mismo el agua procedente de una cubierta verde que de una superficie asfáltica) y también a los requerimientos del agua para el uso que se le vaya a dar. Los filtros deben ser dimensionados en función del caudal de agua que puede pasar por ellos. Como orientación se pueden utilizar las informaciones de los fabricantes que en muchos casos asignan una máxima superficie de recogida a sus filtros.

Depósitos para la recolección de Aguas Lluvias



Los filtros se pueden clasificar en función de su localización:

- Filtros para la instalación en bajantes
- Filtros para la instalación en depósitos
- Filtros para la instalación individual (en cajas, enterradas o en superficie)

El depósito

El depósito debe ser exclusivamente para uso en un sistema de reaprovechamiento de agua de lluvia por lo que debe estar limpio antes de la entrada de agua. El material del que esté hecho no debe alterar en ningún caso la calidad del agua almacenada y puede ser de diferente naturaleza, incluso puede tratarse de un simple barril plástico o de madera tratada.

En cisternas que almacenan volúmenes importantes y sistemas más complejos se recomiendan incluir algunos elementos para prevenir la contaminación, como:

- Más de un filtro, según necesidad
- Deflector o entrada antiturbulencia de agua que evite resuspensiones de sedimentos.
- Salida rebosadero con un sifón que incluya una protección para evitar la entrada de animales.
- Sistemas de desinfección (como cloración automática en sistemas automatizados)

Dimensionamiento

Como ya se mostró en el Módulo 2, el dimensionamiento del depósito de pluviales depende de 3 factores:

- Superficie de captación de agua pluvial
- Precipitación media de la zona
- Demanda que se pretende satisfacer



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Una metodología simplificada de apreciación del volumen requerido es:

- 1- Estimar el volumen de agua que se puede recoger anualmente

$$Vol_R = A \cdot P \cdot C$$

Ecuación 10. 1. Volumen anual que puede recolectarse.

A: m² de superficie de captación de agua, independientemente de su forma e inclinación

P: Pluviometría anual media de la ubicación

C: Coeficiente de rendimiento, es función del tipo de superficie:

- Tejado duro inclinado 0,8
- Tejado plano sin gravilla 0,8
- Tejado plano con gravilla 0,6
- Tejado verde intensivo 0,3
- Tejado verde extensivo 0,5
- Superficie empedrada/superficie con empedrado compuesto 0,5
- Revestimiento asfáltico 0,8

- 2- Estimar el gasto anual de pluviales, es decir, del volumen de agua que se va a gastar en los diferentes usos que se hayan contemplado (limpieza, aguas de cisterna, riego...)
- 3- Comparar ambos volúmenes:
- 4- Si el volumen de agua que puede recolectarse es inferior al de las necesidades, ese valor será el que se emplee para dimensionar el sistema
- 5- Si ocurre al contrario, entonces se dimensionará el sistema para las necesidades de uso y el excedente se enviará a otro sistema de gestión.
- 6- A partir los días que transcurren entre lluvias (DS), determinar el volumen del depósito:

$$Vol_{SRP} = \frac{Vol_E \cdot D_{LI}}{365}$$

Ecuación 10. 2. Volumen del depósito

Vol_{SRP}, Volumen sistema recolección de pluviales

Vol_E, Volumen anual a emplear

D_{LI}, Días que transcurren entre lluvias

Esta metodología permite variantes, como la estimación a nivel mensual (en vez de anual) y posterior ponderación del volumen de recolección, ...

En la aplicación de estos sistemas en el AMSS como elementos del drenaje habrá que tener en cuenta:

Depósitos para la recolección de Aguas Lluvias



- A. Se dimensionan en función de precipitaciones medias, no de máximas ya que el objetivo principal no es gestionar un caudal pico sino proveer un volumen medio para su consumo.
- B. La estacionalidad de las precipitaciones; las precipitaciones no se reparten con regularidad se concentran en medio año y luego hay seis meses de estiaje. En este caso, conocidas las necesidades en tiempo seco de agua, el empleo directo de la fórmula dará volúmenes de gran tamaño para los que no siempre se dispondrá de espacio. Por eso se recomienda hacer una valoración económica que refleje el coste de la construcción de un depósito y el beneficio de disponer de agua durante la época de sequía para abastecer una o varias de las necesidades de consumo.

Al estar tan polarizada la precipitación en el AMSS, pueden ocurrir dos casos:

Que el sistema esté funcionando para captar y abastecer en época lluviosa.

Que el sistema sólo esté almacenando agua en época de lluvias para después abastecer en época seca (lo que ocurre, por ejemplo, con el agua para riego, durante la época lluviosa no es necesario regar las plantas, pero en época de sequía sí hay que hacerlo)

En el primer caso el volumen disponible para laminar será inferior, ya que siempre ha de haber un volumen mínimo de agua dentro del sistema para el abastecimiento. En el segundo caso, al principio de la temporada de lluvias se dispondrá del volumen completo del sistema, que se irá reduciendo conforme vayan avanzando los meses (es decir, mientras se va llenando para su posterior uso).

Para un mayor ajuste de las dimensiones, conviene realizar un balance a nivel mensual que refleje el agua acumulada en un mes, el volumen mensual necesario para cumplir con el objetivo de uso de agua, el excedente o déficit entre ambos volúmenes y de esta manera valorar si instalar un depósito de mayor volumen u otro más pequeño y prever otra nueva fuente de agua para ese uso.



03. INSTALACIÓN

La instalación de un sistema de recolección y reuso de aguas lluvias depende de la complejidad del mismo, puede tratarse de un simple barril situado bajo una canaleta procedente de una cubierta del que se saca agua de forma manual para riego o un depósito subterráneo conectado a una red domiciliaria que sirve agua en cisternas de baño y a grifos de agua no potable para limpieza de suelos.

Pero, en cualquier caso, hay que controlar los siguientes puntos:

- La conducción de las aguas lluvias desde su punto de origen al depósito ha de producirse de la forma más directa posible evitando disminuciones de secciones conforme se va de aguas arriba hacia el depósito
- El sistema de recolección y reuso de aguas lluvias ha de ser completamente independiente de la red de abastecimiento de agua potable (y de la red de saneamiento), por lo que se han de evitar las conexiones cruzadas entre los diferentes sistemas de aguas del edificio donde se instale.
- Información mediante etiquetas, carteles o notas informativas en el depósito y en los puntos de salida de las aguas lluvias (cisternas, grifos, etc) como mínimo, que se trata de un sistema de reuso de aguas lluvias y que por tanto se trata de agua no potable.
- Respecto a las canaletas, tubos y elementos empleados, no deben estar compuestos de materiales con componentes tóxicos y la circulación del agua no debe estrangularse entre el paso de un elemento a otro.



04. MANTENIMIENTO

Para que el agua almacenada en el depósito de recolección de aguas lluvias mantenga la calidad requerida en función de su uso final, se hace necesario un mantenimiento periódico de todo el sistema de reaprovechamiento de agua pluvial mínimo una vez al año. Los principales aspectos a controlar son los siguientes:

- Revisión, limpieza y sustitución, en caso de que sea necesario, de los elementos que captan la lluvia, como cubiertas, canaletas y bajantes.
- Inspección y limpieza periódica del depósito, filtros, rebosaderos, válvulas y demás elementos complementarios, así como de los sistemas de distribución.
- Comprobar periódicamente el funcionamiento de los sistemas de desinfección automáticos (en caso de que los hubiera)
- Vigilar el funcionamiento de bombas (si las hay) y reparar si hay algún fallo.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Mantenimiento regular

Limpieza de tanques/barriles, entradas, salidas, canalones y filtros de sedimentos y otros residuos.	Anualmente
--	------------

Tabla 10. 6. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

Mantenimiento ocasional

Reemplazo de los filtros	Cuando sea requerido, en función de recomendaciones del fabricante
--------------------------	--

Tabla 10. 7. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

Reparación de daños en el depósito	Cuando sea requerido
Reparación de la bomba (de haberla)	Cuando sea requerido

Tabla 10. 8. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Monitoreo

Inspección del tanque de residuos y sedimentos acumulados.	Anualmente (o si se detecta mal funcionamiento)
Inspección de entradas y salidas de agua.	Anualmente (o si se detecta mal funcionamiento)
Inspección de áreas que reciben desbordamiento, para evidencia de erosión.	Anualmente (o si se detecta mal funcionamiento)
Inspección de bombas y sistema eléctrico (de existir)	Anualmente (o si se detecta mal funcionamiento)

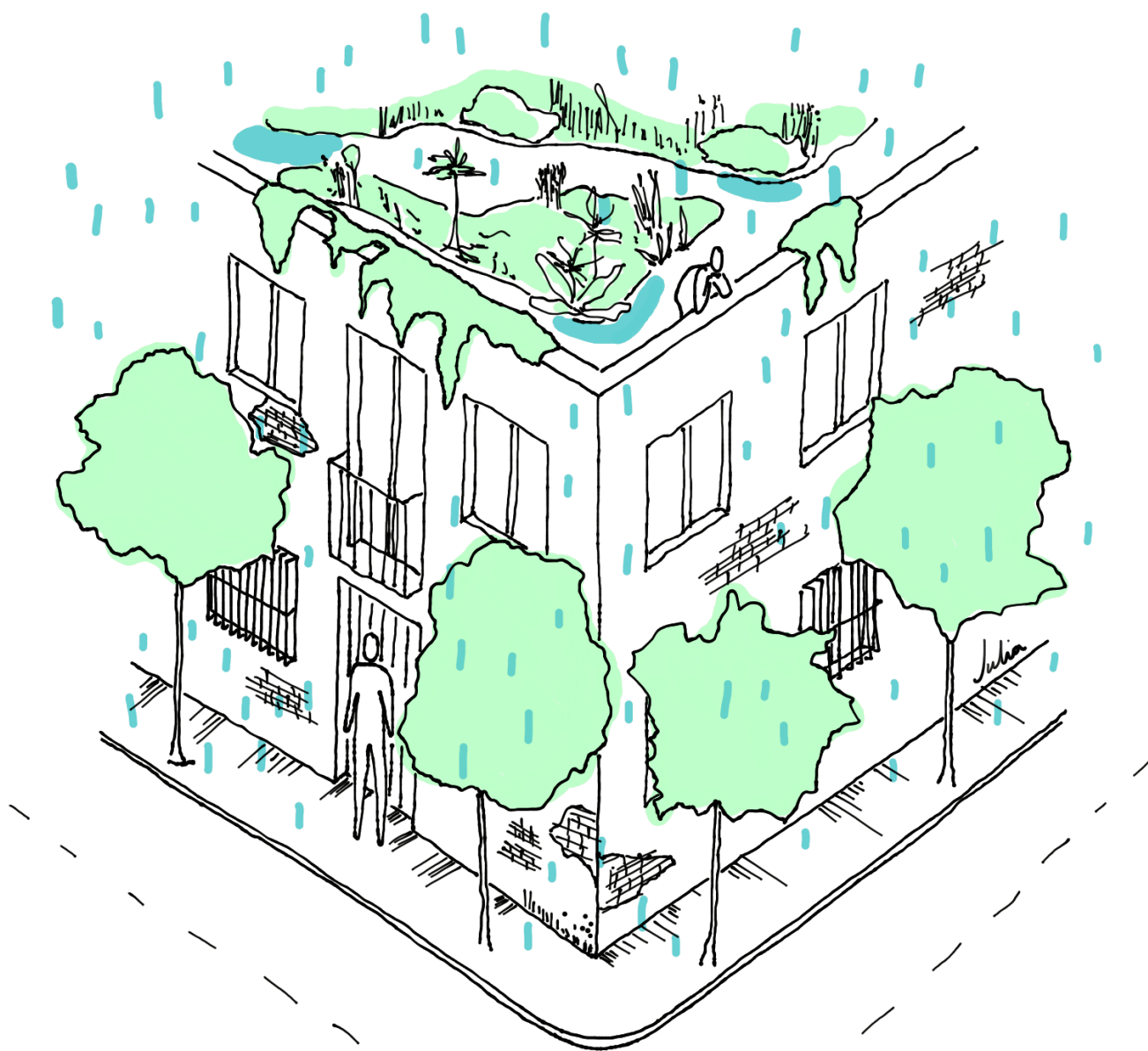
Tabla 10. 9. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)



Sistemas Urbanos de Drenaje
Sostenible en el AMSS

TECHOS VERDES

Capítulo 11



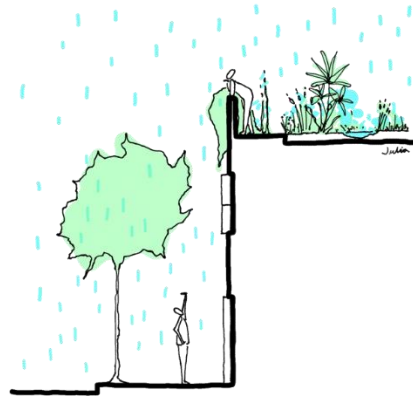
COAMSS
OPAMSS

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Techos Verdes

Capítulo 11



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Los techos verdes están concebidos para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico.

Estructuralmente consisten en un sistema multicapa colocado sobre los tejados de los edificios en el que se favorece el crecimiento de vegetación.

Incluyen terrazas, tejados y balcones tanto de uso público como privado y pueden tener o no con acceso directo a ellas. Algunas inclusive sirven de espacio lúdico.

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



¿Cómo funcionan?

Son techos de un edificio que parcial o completamente cubiertos con vegetación y un medio de cultivo, sobre una membrana impermeabilizante. Tienen diferentes propósitos, uno es la absorción de lluvia que queda retenida por la vegetación, el sustrato y en algunas de las capas inferiores antes de pasar a la red de alcantarillado. Y además proporciona el aislamiento térmico, crean un hábitat para la fauna, y contribuyen a bajar la temperatura del aire urbano combatiendo el efecto isla de calor.

Control de la cantidad de agua

Las cubiertas verdes ofrecen una buena función de reducción de caudales pico dentro de los sistemas de saneamiento ya que la retienen en vez de transmitirla directamente a través de los bajantes al alcantarillado. En caso de diseño apropiado, también pueden proporcionar excelentes condiciones para la reducción del volumen de escorrentía.

Control de la calidad del agua

Este tipo de técnicas ofrecen buenas condiciones para la mejora de la calidad de agua, a través de los procesos de sedimentación, filtración y absorción biológica de los contaminantes por parte de la vegetación.

Valor paisajístico y medioambiental

Los techos verdes ofrecen una excelente función de mejora del paisaje y proporcionan un hábitat en la ciudad para especies de diferente índole, tanto micro como macrovertebrados.

El hecho de que proporcionen un alto valor estético en los edificios en los que se instala es uno de los motivos por los que es empleado en muchos lugares del mundo. Además, de que convierte un espacio que apenas se usa, en un lugar lúdico.

Componentes

El desarrollo de las cubiertas vegetadas requiere de, al menos, estos componentes:



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

1. Capa impermeabilizante

Evita que en, caso de rotura de la capa drenante o cambios en tareas de mantenimiento, el agua penetre bajo la cubierta. Puede acomodarse una capa bituminosa o una geomembrana impermeable.

2. Barrera de raíces

Previene contra raíces de plantas vigorosas que pueden penetrar a través de la membrana impermeable dañándola, lo que puede producirse con más facilidad en cubiertas con estratos más gruesos, pues a ellas pueden llegar malas hierbas cuyas raíces son más penetrantes. Esta barrera puede también ser un biocida, una espesa capa de polietileno o una lámina delgada de cobre. Cuando la capa de tierra es más gruesa, es posible una mayor retención de agua y, por lo tanto, el riesgo de que crezcan malas hierbas es mayor y estas tienen raíces más penetrantes

3. La capa de drenaje

Controla el agua de retención del tejado y sus propiedades en combinación con el sustrato. Esta capa se emplea para evitar la erosión producida por la filtración del agua y el encharcamiento que se produce cuando hay poca pendiente, ambos procesos negativos para la vida de las plantas. Además, también puede acumular agua que queda disponible para la vegetación tras las lluvias.

Esta capa puede estar ser de diferentes materiales de muy distinta naturaleza como:

- Gravas, cuya forma no debe ser demasiado redondeada, podrían rodar por la cubierta. Su empleo es económico pero este material es pesado y supone una importante carga estructural.
- Lava triturada y ladrillos de barro triturados, el primero es un material natural y el segundo, reciclado. Pero ambos poseen características muy similares, pues los dos son porosos, con capacidad para retener más agua que las gravas y son menos pesados. Además, estos materiales mantienen la humedad del sustrato durante más tiempo.
- Láminas plásticas. En el mercado hay gran variedad de láminas plásticas drenantes específicas para cubiertas verdes. En ellas hay como unos pequeños

Techos Verdes



recipientes que reciben el agua y la distribuyen uniformemente en la superficie. Una vez están llenos, el exceso de agua se drena por medio de unos agujeros. Este material es muy liviano y fácil de transportar e instalar.

4. Capa de control de la erosión

Es un geotextil que se coloca sobre la capa de drenaje para evitar que el sustrato obstruya la capacidad drenante. Esta capa gana importancia con la pendiente del techo

5. El sustrato o medio de crecimiento.

Proporciona el espacio físico, de estructura porosa, con nutrientes, composición química y propiedades de drenaje necesarios para el crecimiento de las plantas escogidas. Hay un amplio rango de sustratos, las recomendaciones para el AMSS son:

Mezcla de: piedra poma 40%, tierra negra 50% y hojarasca 10% para crasuláceas, cactáceas y agaváceas.

Mezcla de: tierra negra 90% y 10% piedra poma para gramas: San Agustín, chalateca, japonesa o diferentes tipos de gramíneas.

Mezcla de: tierra negra 60%, hojarasca 20% y piedra poma 20% para helechos y aráceas

6. La capa de vegetación

Puede ser plantada artificialmente, mediante semillas, vástago o por colonización natural. Es recomendable, que una vez hecha la selección de las plantas se consulte con los especialistas del vivero de La Laguna, el mejor método de cultivo en cada caso. Vegetación sugerida para el AMSS por el Comité Biofílico de el Salvador Green Building Council:

- Especies de Sol directo: diferentes clases de gramas, dichondras, portulacas, cubresuelos, maní rastrero, crasuláceas, cactáceas, agaváceas y plantas aromáticas.
- Especies de Sol – Sombra: helechos, cubresuelos, scheffleras, aráceas, bromelias, anturios y monjas blancas; entre otros.

Cubiertas intensivas:



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Especies de sol - arbustos: camarones, crotos, durante, scheffleras, ixoras híbridas, marantas, geranios, rosas, agaves, aloes, azaleas, salvia y senecios floral.

Especies de sombra variados: anturios, monjas blancas, aráceas, hortensias y dracenas.

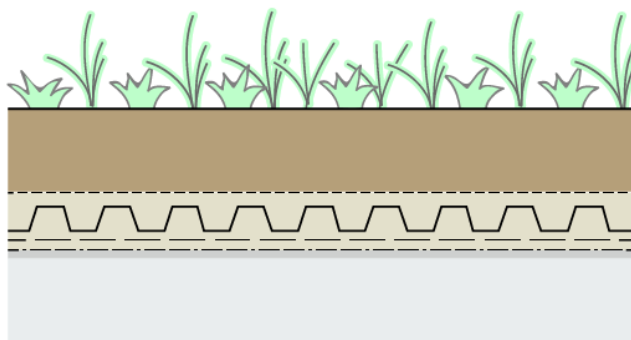
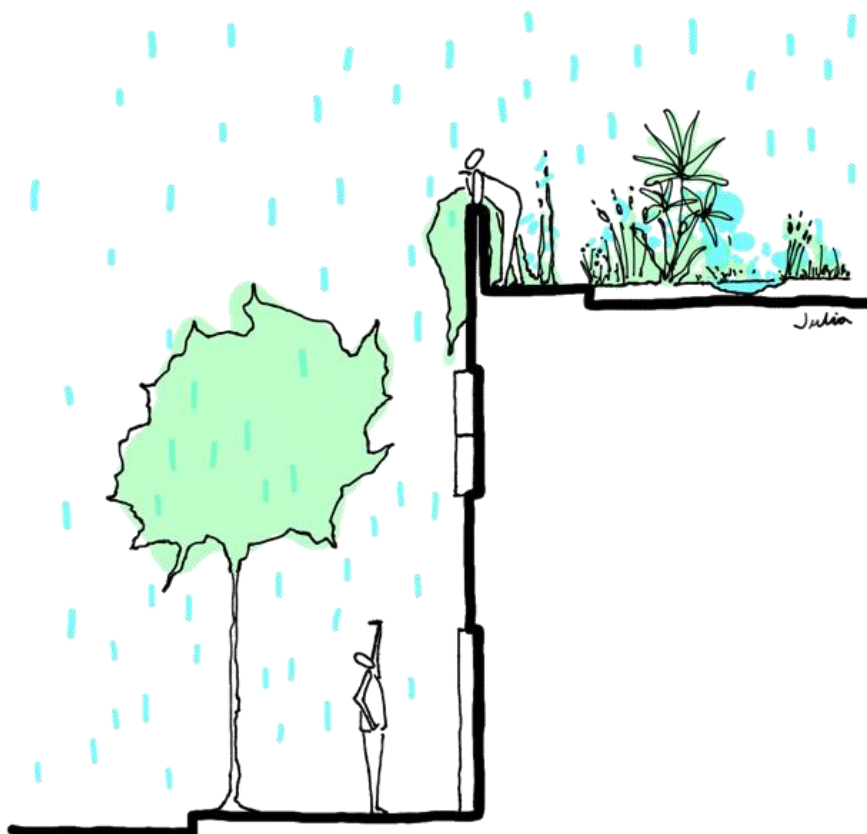


Figura 11. 3. Detalle de las capas. En orden descendente: vegetación, sustrato, geotextil, capa drenante, antiraíces impermeabilizante y cubierta Fuente: Adaptación de CIRIA (2015)





Tipos

Extensivos (o Techos Verdes Autoregulados)

Se caracterizan por ser bastante ligeras, con un sustrato de reducido espesor, de 2 a 15 cm, y poca concentración de nutrientes. Las plantas adecuadas han de ser resistentes con pocos requerimientos de agua, fertilizantes o de la adición de nutrientes. No requieren mucho mantenimiento.

De acuerdo con el tipo de vegetación que se utilice se clasifican, según el Comité Biofílico de El Salvador, en livianos, moderados y robustos, pero se recomienda el peso aproximado del techo en estado saturado, el cual no sobrepasará no debe sobrepasar los 150kgr /m². No son transitables y la altura máxima que debe tener la vegetación es hasta los 50cm.



Imagen 11. 1. Techo verde extensivo. Fuente: Zinco

Intensivas (o Techos Verdes Ajardinados)

Son techos con una amplia variedad vegetal que requieren mantenimiento periódico, con tareas habituales de jardinería como cortar el césped, abonado, riego o escardas. Necesitan de mayores cargas estructurales (también se clasifican en livianos, moderados y robustos) y espesores de sustrato para retener más agua y sustentar la vegetación. Esta vegetación puede ser de cubresuelos, gramas o follajes a arbustos que no sobrepasen una altura de 2 metros. Pueden tener espacios transitables y pequeñas terrazas.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS



Imagen 11. 2. Techo intensivo. Fuente: Zinco

Semi-intensivas

Las características de este sistema son una combinación de las asociadas a anteriores, con una profundidad media de entre 120 mm y 250 mm y algunas necesidades de mantenimiento.



Imagen 11. 3. Techo semi-intensivo. Fuente: Zinco

También hay cubiertas verdes enfocadas a la creación de un hábitat, diseñadas para atraer unas especies particulares de plantas, insectos y pájaros, creando un hábitat similar al previo a la edificación. Puesto que se orientan a aumentar el valor de la biodiversidad, la interacción humana en estos tejados está limitada.

Techos Verdes



Características	Extensivas	Semi-Intensivas	Intensivas
Mantenimiento	Bajo	Periódico	Alto
Riego	No	Periódica	Regular
Comunidades de plantas	Sedum, herbáceas y césped	Césped, herbáceas y matorrales	Césped, plantas perennes, arbustos y árboles
Altura del sistema	50 - 200 mm	120 - 250 mm	150 - 400 mm. Sobre garajes subterráneos pueden ser de más de un metro
Peso	60 - 150 kg/m2	120 - 200 kg/m2	180 - 500 kg/m2
Costes	Bajo	Medio	Alto
Uso	Capa de protección ecológica. Elemento de drenaje urbano	Capa de protección ecológica, uso recreativo. Elemento de drenaje urbano	Uso recreativo. Elemento paisajístico y de drenaje urbano.

Tabla 11. 10. Resumen de las características de los diferentes tipos de techos verdes. Fuente: <http://www.greenroofguide.co.uk>



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

• Usos típicos Regulación térmica del edificio donde se instalan. Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales/industriales. Se pueden establecer en tejados para darles un uso recreativo.	
• Ventajas: Imitan el estado hidrológico inicial antes de la impermeabilización asociada al desarrollo urbanístico. Tienen una alta capacidad de eliminación de los contaminantes atmosféricos urbanos depositados, así que mejoran la calidad del aire. Pueden ayudar en el control de la contaminación acústica ya que la vegetación absorbe el ruido. Suponen una mejora estética del edificio. No ocupan un espacio “per se”, están sobre construcciones ya realizadas. Puede ser usados como espacios verdes. Ayudan a gestionar los impactos de la isla de calor urbano. Aíslan térmicamente los edificios frente a temperaturas extremas.	• Limitaciones: Caro en comparación con los tejados convencionales. No es apropiado en tejados inclinados. La estructura de la azotea puede limitar la adaptación de las cubiertas vegetadas. Se requiere de un mantenimiento de la vegetación. En época seca requiere de un mayor cuidado y de un aporte adicional de agua. Se requiere revisión de las juntas, por si aparecen roturas o problemas en relación con la capa impermeabilizante.
• Requisitos de mantenimiento: El riego es necesario durante el establecimiento de la vegetación para algunas cubiertas Hay que inspeccionar regularmente comprobar el estado de la flora y reemplazar las plantas donde sea necesario. En algunos casos habrá que retirar residuos, como hojas secas.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Medio Reducción de volumen: Alto Tratamiento de calidad de agua: Alto Potencial beneficio social/urbana: Bajo Potencial ecológico: Bajo

Tabla 11. 11. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA (2015)



02. DISEÑO

Análisis de los condicionantes de diseño

Capacidad estructural

Este es un punto clave a desarrollar por un especialista en estructuras, ya que no todas las viviendas podrán soportar la carga de una cubierta verde. Lo ideal es incorporar el diseño de la cubierta vegetada desde el inicio del planteamiento del edificio, para ir adecuando la estructura al peso extra al que se verá sometido el edificio.

La carga estructural sobre el tejado dependerá del tipo de cubierta verde elegida. Y el asesoramiento profesional sobre la carga que puede aguantar un tejado es siempre necesario. Las cubiertas extensivas, en especial las que son ligeras, apenas aportan un sobrepeso importante que pueda afectar al edificio. Pero las cubiertas intensivas y los jardines en las azoteas pesan mucho, ya que aparte de la carga vegetal y el sustrato requieren de elementos de acero o de hormigón. Además, hay que incluir en los cálculos la carga adicional que supone para el edificio la instalación de la nueva cubierta verde tanto cuando el sustrato no está saturado como cuando sí lo está, pues se produce una importante variación.

Hay que tener en cuenta que, para la instalación de este tipo de tejados verdes lo ideal, en edificios ya construidos, es que la cubierta sea plana de losa y esa técnica constructiva se utiliza muy poco en el AMSS. Realizar un cambio de cubierta para instalar una con vegetación puede llevar asociados cambios estructurales que también deberán ser cuidadosamente analizados. Por ello se hace más fácil que su diseño se incluya desde el inicio del proyecto de edificación.

Accesibilidad al tejado

Como ocurre en todas las azoteas, las cubiertas verdes requieren de un cierto grado de mantenimiento, aunque sea una simple limpieza de la superficie, y por lo tanto, es importante incluir en el diseño un fácil acceso cualquiera que sea el tipo de cubiertas.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Por motivos de seguridad lo idóneo sería la imposibilidad de caer desde ninguna parte del tejado, pero si esto no es posible, deben establecerse protocolos de protección y seguridad que impidan la caída de los operarios: protección del borde, sistemas de anclaje y medios de contención personal para que las inspecciones y labores de mantenimiento sean lo más seguras posibles.

El riesgo de incendio

Aunque la vegetación seca sobre los techos verdes tiene potencial como foco de incendio (lo que podría parecer peligroso) experiencias en Alemania han demostrado que este riesgo es mínimo, y consideran los tejados verdes extensivos son resistentes contra los incendios si el sustrato tiene un espesor mínimo de 30 mm y un contenido inferior al 20% en peso de materia orgánica; además debe haber espacios de un metro de ancho con gravas cada por cada 40 m de techo verde y todos los elementos estructurales o de cualquier otro tipo que estén en el tejado deben estar rodeados por una franja de grava.

De cualquier forma, es recomendable poner en marcha medidas como las siguientes:

- Dejar espacios intencionadamente sin vegetación, por ejemplo, con guijarros (de 200 a 400 mm de anchura) o de pavimento (500 mm de ancho)
- Poner soportes de piedra u hormigón con una anchura de mínima de 1 m o muros cortafuegos con un alto de 300 mm
- Se debe evitar la presencia de especies de plantas no deseadas (no pertenecientes al grupo de selección vegetal idóneo para el AMSS).

Conocimiento del mercado y de las garantías de los productos

En el AMSS hay empresas que comercializan los materiales de este tipo de SUDS (de hecho, ya hay varios tejados verdes instalados en el AMSS) y que, en muchos casos, ayudarán o colaborarán en el diseño, incluso puede que lo realicen ellas mismas y que a futuro puedan ofrecer servicio de mantenimiento. No siempre se va a poder contar con todo el servicio integrado, aunque sea lo más recomendado, pero por lo menos se han de poder hacer las consultas necesarias a los proveedores para realizar un diseño más acertado. Y han de

Techos Verdes



quedar claras las garantías de los productos, sobre todo durante el primer año que es cuando se ha de enraizar la vegetación.



Imagen 11. 4. Techo verde intensivo en World Trade San Salvador. Fuente: Elaboración propia

Pendiente del techo

Los techos verdes pueden instalarse con cualquier elemento comercial estándar hasta techos con 10° de pendiente, pueden convertirse fácilmente en techos verdes especiales. Conforme se incrementa la pendiente de la superficie, más se complica el diseño y la instalación, además el coste también se incrementa, así como las limitaciones en los accesos. Si ésta supera los 45 grados, habrán de utilizarse las tecnologías que se emplean en los “muros vivos” o jardines verticales. En lo relativo al drenaje urbano, con mayor pendiente, menor será su rendimiento, por lo que pierde su efectividad en gestión sostenible de pluviales.

Biodiversidad

Si el objetivo es crear un hábitat para propiciar el aumento de biodiversidad, los diseñadores necesitan conocer completamente cuáles son las características



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

necesarias para posibilitar el desarrollo de tal biodiversidad. Para ello deben consultarse ecólogos y/o biólogos, una opción para encontrar a tales especialistas es acudir al Jardín Botánico de La Laguna.

Riego

Las precipitaciones en el AMSS están muy polarizadas en dos épocas al año, por lo que ha de diseñarse un sistema de riego para los meses secos. En los tejados extensivos, puesto que no son transitables, el riego deberá ser automático, en el resto de las cubiertas también es lo recomendable, pero si son practicables un operario podría acceder para el riego sólo en los momentos en los que sea requerido.

El sistema y frecuencia de riego han de quedar definidos desde el comienzo del diseño, ya que el no abastecer de suficiente agua a la vegetación en época seca o hacerlo en exceso, puede provocar la muerte de las plantas y, por consiguiente, la pérdida de funcionalidad del techo verde.

Diseño hidráulico

Las cubiertas verdes reducen la escorrentía que se genera en la azotea, ya que parte del agua es absorbida por la vegetación, y el caudal pico. La disminución en el caudal pico depende de la intensidad del evento pluviométrico y del nivel de saturación del sustrato justo antes de que comience a llover. Cuando el sustrato está saturado, el tiempo de concentración se acerca al de un tejado convencional, pero el caudal pico sigue siendo menor.

Pero, a pesar de funcionar como sistemas de drenaje, se instalan principalmente por motivos estéticos o para mejorar la climatización del edificio, el control de las aguas lluvias es algo secundario. Además, dada su ubicación, el principal objetivo del diseño no es el correcto funcionamiento hidráulico (que ha de tenerlo), sino estructural, puesto que un exceso de peso puede hacer caer abajo la construcción.

En lo relativo al estudio hidrológico, hay analizar el funcionamiento de la cubierta vegetada frente a las precipitaciones de 5 y 10 años de periodo de retorno y 1 hora de duración y también habrá que realizar una simulación de su

Techos Verdes



funcionamiento anual, es decir, evaluando los procesos de evaporotranspiración y la distribución estacional de las lluvias. Hay que tener en cuenta que, en época lluviosa precipita todos los días, por lo que seguramente el sustrato estará continuamente saturado. De ahí que en el diseño deban considerarse las diferencias estacionales y adoptar la posición más conservadora, que equivale a la estación lluviosa, cuando el sustrato está completamente empapado y los niveles de evaporotranspiración son más reducidos.

Además de la pluviometría, en el diseño hidráulico hay que:

- Identificar los puntos de salida, es decir la localización de sumideros y bajantes que hay distribuidos por la azotea. A esos puntos deberá de llegar el excedente de caudal que no ha quedado retenido ni en los poros del sustrato ni en los poros de la capa drenante. Se trata por tanto de la escorrentía generada sobre la cubierta verde. Para evitar problemas por una posible obstrucción, al menos debe haber dos salidas diferentes de agua. Estos puntos de desagüe han de estar protegidos de la vegetación por una barrera de grava que prevenga de la intrusión vegetal en los bajantes.
- Calcular la escorrentía, para estimar los caudales generados en una cubierta basta con emplear el método racional para los periodos de retorno propuesto y ajustar los coeficientes de escorrentía según el tipo de vegetación empleada. La diferencia entre el caudal que se genera en la cubierta sin vegetación y el formado sobre la cubierta verde es la cantidad de agua que puede almacenarse en la capa drenante y/o el sustrato. Las áreas de aportación serán aquellas que desaguan en cada uno de los puntos de salida hábiles, y su pendiente, la de la superficie de la cubierta. Como ya se ha comentado, el foco prioritario de estos sistemas está en la carga estructural a soportar, y con esa limitación, se estimará la cantidad de agua máxima que se puede almacenar. La capa de drenaje, donde se almacena parte del agua precipitada, tiene diferentes capacidades según el componente de que esté hecha (gravas, celdas plásticas, ...) El proyectista debe valorar, en función de los requerimientos de proyecto cuál es la más indicada para cada caso específico



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

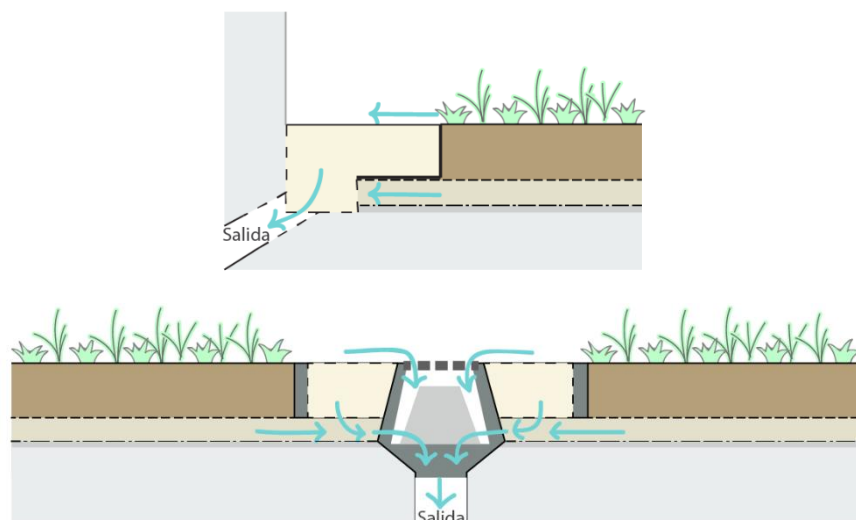


Figura 11. 4. Detalle de dos tipos de salidas del excedente de agua en un techo verde. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015)

Diseño de los elementos adicionales

Todos los soportes, perímetros del tejado, salidas y elementos salientes del tejado deben ser protegidos por una barrera no vegetada de unos 200 a 400 mm que puede ser de grava o de losetas de concreto. Esta barrera debe ser de la misma profundidad del sustrato y no menos de 500 mm en la horizontal.

La capa impermeable debe subir al menos 150 mm sobre cualquier otro elemento (sustrato o barrera de vegetación) en la parte vertical.

En los lugares donde se usa material impermeabilizante sobre las caras verticales de los soportes y parapetos, la membrana debe ir doble o con un refuerzo o protección metálica. Esto asegurará que no aparezcan puntos débiles que puedan verse afectados por radiación ultravioleta o por condiciones climáticas desfavorables en aquellas partes que no queden resguardadas por la cubierta vegetal.



03. CONSTRUCCIÓN

Puesto que algunos materiales, como la lámina impermeabilizante o la capa de geotextil, han de estar en perfecto estado para su instalación, hay que prestar especial a los procesos de transporte, entrega y almacenamiento por los que van a pasar. La instalación de los elementos debe ser cuidadosamente realizada ya que un posible fallo en la impermeabilización acarreará daños costosos de reparar. La plantación también habrá que hacerse conforme a los requisitos de viabilidad de las especies vegetales seleccionadas. Finalmente, y de suma relevancia, se deben extremar las precauciones en el proceso constructivo, se trabajan con materiales pesados y generalmente a gran altura, por lo que se debe procurar que la accesibilidad y desempeño de las tareas en el techo sean seguros y eviten el riesgo de caída.

Aunque existen diferentes casas comerciales que venden e instalan materiales para este tipo de techos, el procedimiento básico constructivo es similar en todas ellas:

1. Impermeabilización de la cubierta. Lo primero a realizar es impermeabilizar la cubierta para evitar daños a la estructura del edificio. Se puede hacer de diferentes maneras, la más usual es con geoláminas. Antes de su instalación ha de comprobarse que cumple con las especificaciones técnicas recomendadas, la comprobación y certificación del producto impermeabilizante debe realizarse justo antes de su instalación en la cubierta y se volverá a comprobar una vez instalado. Para facilitar el monitoreo del estado de esta capa, es conveniente tomar fotografías de las juntas y uniones de las láminas en el momento de instalación. En las inspecciones que se realicen a posteriori se podrá comprobar la evolución de su estado y tomar las medidas que sean necesarias para preservar la impermeabilización de la estructura. el área antes de ser tapizada con la estructura verde.
2. Colocación del geotextil que envuelve a la capa drenante. Se ha re realizar cuidadosamente evitando cualquier rasguño o rotura en si instalación.
3. Montaje de la capa drenante. Ésta puede consistir en unas celdas plásticas o material poroso como un lecho de gravas. Las celdas plásticas



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

se acoplan entre sí por toda la superficie del tejado verde y, en caso de emplear gravas, se deben distribuir manteniendo el espesor de diseño de forma uniforme por toda la superficie.

4. Cierre de la envolvente geotextil sobre la capa drenante. Una vez colocada la capa drenante, se procede a taparla con el geotextil de forma igualmente cuidadosa para evitar roturas.
5. Colocación del sustrato en el que crecerá la vegetación, éste debe extenderse de forma homogénea reduciendo en la medida de lo posible las pisadas para no compactarlo.
6. Plantación de las especies vegetales por semillas o plántulas. Además, se deberán tomar las medidas necesarias para evitar que los pájaros se coman los primeros tallos y semillas.



04. MANTENIMIENTO

El mantenimiento dependerá principalmente del tipo de techo verde (intensivo/extensivo) aunque también de otros factores como de si es transitable, las horas de luz que recibe, del viento, ... Por lo general, los techos intensivos requieren de altos niveles de mantenimiento puesto que para mantener una vegetación frondosa se debe limpiar las malas hierbas, añadir fertilizantes, insecticidas, regarlos, podar en algunos casos.... En cambio, los techos extensivos no requieren de tantos cuidados, regar en época seca y pocas tareas más.

A continuación, se dan unas pautas básicas que el proyectista ha de tener en cuenta en el diseño de un techo verde.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de inspección

Inspeccionar todos los componentes incluyendo el sustrato del suelo, la vegetación, los desagües, los sistemas de riego, las membranas y la estructura del techo para garantizar el funcionamiento correcto, la integridad de la impermeabilidad y la estabilidad estructural	Anualmente y después de fuertes tormentas
Inspeccionar el sustrato del suelo para detectar la presencia de canales de erosión e identificar cualquier posible fuente de sedimentos	Anualmente y después de fuertes tormentas
Inspeccionar los puntos de salida del drenaje para asegurar la escorrentía sin restricciones desde la capa drenante hasta los bajantes	Anualmente y después de fuertes tormentas
Comprobar que no aparecen fugas	Anualmente y después de fuertes tormentas

Tabla 11. 12. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

Tareas de mantenimiento regular

Retirar los desechos y restos vegetales para evitar la interferencia con el crecimiento de la planta y la oclusión de los puntos de salida	Seis meses o según sea necesario
Durante el establecimiento de la vegetación, reemplazar o replantar vegetación en caso de haber huecos.	Mensualmente
Reemplazar plantas muertas	Anualmente o según sea necesario.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Eliminar las hojas caídas y los desechos del follaje de hojas caducas	Seis meses o según sea necesario
Eliminar la vegetación invasiva, incluyendo las malas hierbas	Seis meses o según sea necesario
Cortar gramas, y realizar otras siembras según sea necesario	Seis meses o según sea necesario
Riego	Cada dos semanas en época seca

Tabla 11. 13. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

Si los canales de erosión son evidentes, habrá que estabilizar el sustrato e identificar dónde y cómo se origina la erosión	Cuando sea necesario
Si los puntos de salida del agua hay deposiciones, se han estropeado o se han movido, habrá que reparar según corresponda	Cuando sea necesario

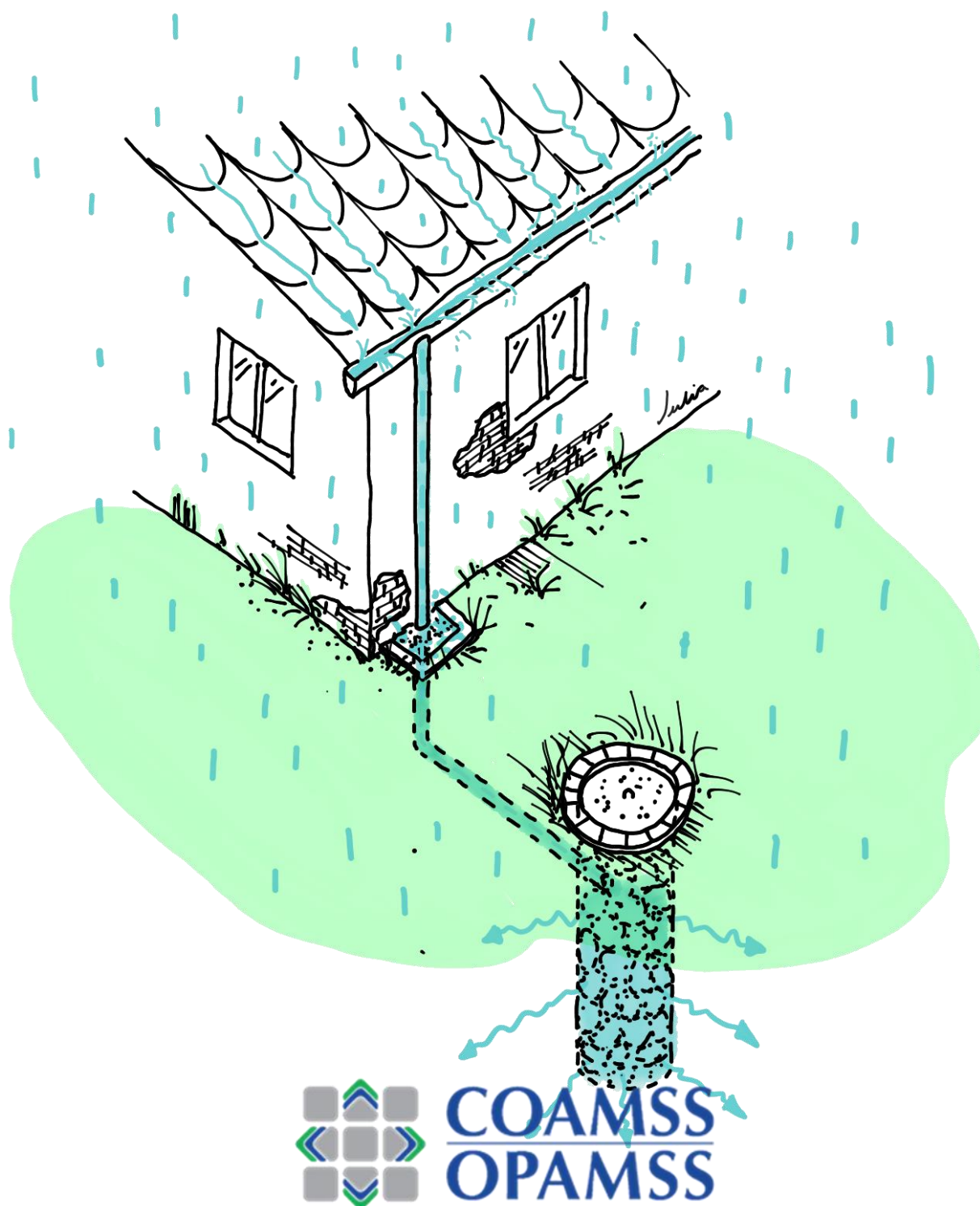
Tabla 11. 5. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)



Sistemas Urbanos de Drenaje
Sostenible en el AMSS

POZOS DE INFILTRACIÓN

Capítulo 12

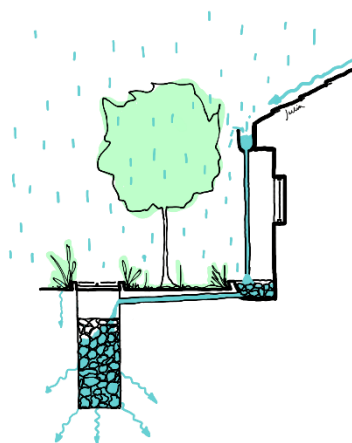


Hoja dejada intencionadamente en blanco

Pozos infiltración

Capítulo 12

de



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

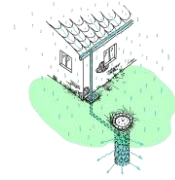
03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Los pozos de infiltración son excavaciones verticales, normalmente cilíndricas, aunque también pueden ser prismáticas, rellenas con un material poroso o huecos, que permiten infiltrar las aguas lluvias directamente al suelo en espacios reducidos. El agua sale del pozo al subsuelo no saturado, de manera que las aguas lluvias se filtran en el suelo antes de llegar al nivel del agua subterránea. Si el pozo alcanza suelo saturado o acuífero, se trata de un pozo de inyección (Pozo Profundo, según normativa de ANDA), que no es objeto de esta guía.

Mediante los pozos de infiltración se consigue desconectar la escorrentía procedente principalmente de techados y azoteas de la red principal, disminuyendo así el caudal a circular por la red de drenaje. No pueden utilizarse en suelos poco permeables.



¿Cómo funcionan?

A ellos va a parar el agua de escorrentía procedente de las zonas adyacentes. Que puede ingresar a través de la superficie o desde redes de conductos.

Se tienen dos funciones principales, la primera almacenar agua temporalmente en el volumen del cilindro del pozo y la segunda infiltrarla en el terreno. Se recomienda que los pozos cuenten con un rebose previo que impida la entrada al pozo de un mayor volumen de agua para el que fue diseñado puesto que puede provocar colmataciones a la larga.

Control de la cantidad de agua

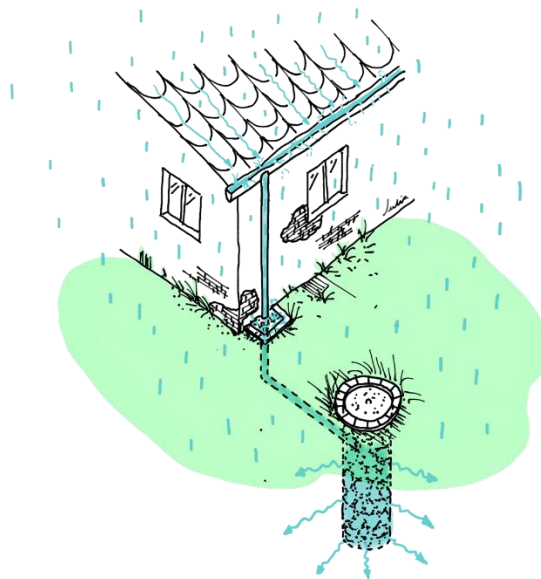
El relleno poroso atrapa los sedimentos, con lo que mejora la calidad de aguas pluviales. Se recomienda que las aguas que entran en el pozo sean pretratadas en una cámara de decantación para eliminar la materia gruesa, y puede ser trampa de grasas según el origen y la calidad del agua de escorrentía.

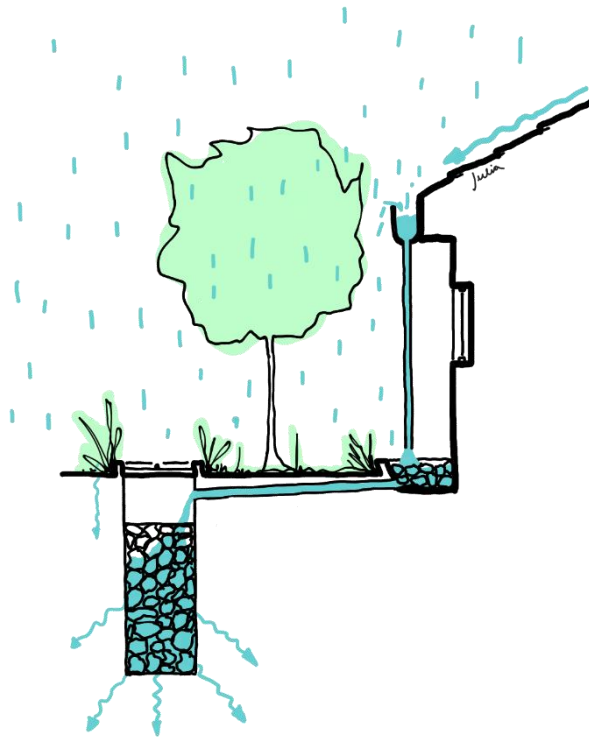
Control de la calidad del agua

No proporcionan una mejora del paisaje y no agregan valor ecológico.

Valor paisajístico y medioambiental

No proporcionan una mejora del paisaje y no agregan valor ecológico.





Componentes

Capa superior

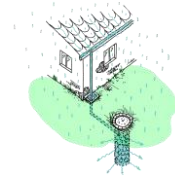
En la parte superior, por encima de la lámina envolvente de geotextil, a modo de una primera capa protectora, puede ponerse tanto una capa fina de gravilla como una fina lámina de suelo con grama.

Geotextil

El relleno del pozo debe estar revestido con un geotextil (tejido filtrante) con características como las especificadas en el Módulo 2.

El material de la tela del filtro debe ser compatible con las texturas del suelo circundante y los propósitos de la aplicación. La parte inferior del pozo puede cubrirse con una capa de arena limpia en lugar del geotextil. Se recomienda emplear geotextiles de materiales sintéticos, no tejidos, de permeabilidad al menos igual a 10 veces la permeabilidad del suelo.

Pozos de infiltración



Anillo de concreto

Para pozos circulares existen anillos circulares ranurados de concreto que se encajan unos sobre otros hasta alcanzar la altura de pozo deseada. Se trata de elementos prefabricados por lo que, previo al diseño, el proyectista debe conocer el diámetro del anillo para estimar el volumen de almacenamiento y el área disponible para infiltración (superficie de la ranura o hueco en el anillo) para conocer el tiempo en que tardará la estructura en vaciarse. Aunque los pozos de concreto son estructuralmente resistentes, no se aconseja su empleo vacíos, el volumen de almacenamiento es mucho mayor al no llevar una matriz de gravas, pero las paredes se pueden mover en tiempo seco por empuje lateral del suelo.

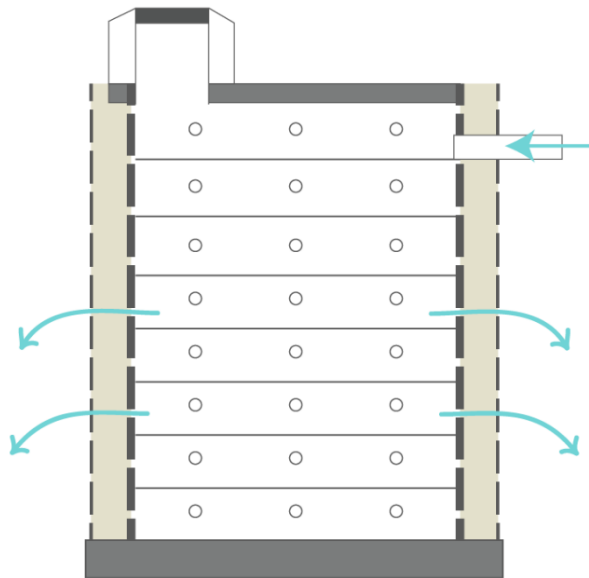


Figura 12. 5. Sección típica de un pozo de infiltración concreto. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015).

Medio filtrante o de acumulación

Puede estar compuesto de celdas plásticas o gravas, en este último caso han de permitir que el espacio de huecos sea del 40% por lo que el diámetro recomendado es entre 4 y 7,5 cm. Las celdas plásticas tienen un espacio de hueco mucho mayor, más del 90% pero las dimensiones están fijadas según la casa comercial (aunque se pueden agrupar en grandes extensiones lineales puesto que son modulares).

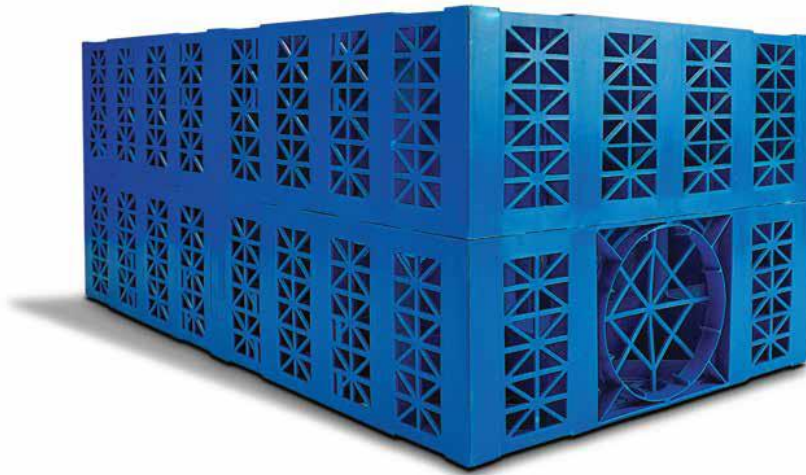


Figura 12. 6. Celda plástica para el almacenamiento e infiltración de las aguas lluvias. Fuente: Amanco.

Pozo de observación

Se recomienda colocar un tubo, anclado verticalmente y con una tapa superior protectora que evite que se introduzcan elementos por él. Este tubo ha de ir ranurado para que en las inspecciones se pueda observar el nivel del agua en todo momento que dará nota de la rapidez con la que se infiltra o si es necesaria alguna intervención porque el nivel de agua no desciende.

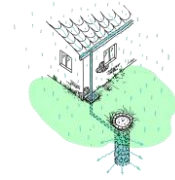
Lecho de arena

En el fondo del pozo de infiltración puede colocarse una capa de pocos centímetros de arena que favorece la filtración de la escorrentía a tratar.

Elementos adicionales

Pretratamiento

Los elementos de infiltración son susceptibles a altas tasas de fracaso debido a la obstrucción por sedimentos, por lo tanto, requieren de un pretratamiento de la escorrentía para eliminar la mayor cantidad posible de sólidos suspendidos antes de que lleguen al pozo.



• Usos típicos Recogida de agua de zonas adyacentes a caminos, parkings, en zonas residenciales, comerciales e industriales. Pero los pozos no pueden ir cerca de estructuras subterráneas de edificios, ni cerca de laderas que pueden saturar y debilitar la misma.	
• Ventajas: Atenúan de forma significativa el volumen de agua de escorrentía y laminan el caudal pico. Se integran fácilmente en el paisaje, ya que son poco visibles Reducen la erosión del suelo Mejoran la calidad del agua de escorrentía. Favorecen la recarga de acuíferos. Habilitan el almacenamiento de la precipitación y aprovechamiento del agua para otros usos. Sin restricciones topográficas para su instalación Ocupan poco espacio	• Limitaciones: Riesgo de colmatación: se pueden obstruir con facilidad, por lo que no se recomiendan localizarlos en suelos particulados finos (aquellos constituidos por limos o arcillas). Las acumulaciones de contaminantes y las obstrucciones son difíciles de ver. Limitados a pequeñas áreas drenantes. Capacidad de almacenamiento reducida en comparación con otros SUDS Riesgo de colmar el subsuelo y acuífero si está cerca Requiere de inspecciones y mantenimiento periódicos
• Requisitos de mantenimiento: Hay que inspeccionarlas para revisar posibles obstrucciones. Retirada de sedimentos. Retirada y limpieza de los materiales filtrantes.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Medio Reducción de volumen: Alto Tratamiento de calidad de agua: Alto Potencial beneficio social/urbana: Bajo Potencial ecológico: Bajo

Tabla 12. 14. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA (2015)



02. DISEÑO

Análisis de los condicionantes de diseño

Ubicación

Los pozos ocupan muy poco espacio por lo que se pueden ubicar en pequeños espacios, con la superficie al aire libre o cubiertos, cerca de las áreas impermeables que drenan a ellos y respetando una distancia de seguridad con la colindancia vecinal y con cualquier construcción para no afectar a los cimientos.

Pendiente del terreno

Al ser elementos puntuales, su limitación por las pendientes está asociada a los posibles problemas que pueda causar aguas abajo el flujo subsuperficial, no a un mal funcionamiento del sistema. Para evitar causar daños, se debe evitar su construcción en la corona de taludes y laderas.

Suelo

La distancia al nivel freático debe estar a más de 3 m por debajo de la base de la instalación.

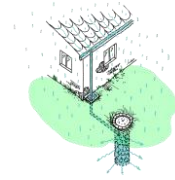
No deben situarse en terrenos inestables y la estabilidad del suelo debe ser verificada evaluando las condiciones del suelo y las aguas subterráneas. Tampoco son aptos para la instalación de pozos de infiltración los terrenos con suelos con una permeabilidad menor que 10^{-5} m/s.

Deben permitirse drenar y volverse a airear entre los eventos de lluvia. Por lo tanto, no deben utilizarse en sitios con flujo continuo de agua.

Dimensionamiento

El dimensionamiento de los pozos de infiltración puede realizarse tal y como se indica en el Módulo 2, teniendo en cuenta que la superficie por la que se produce la infiltración es la de los laterales del pozo, ya que el fondo suele colmatarse y perder efectividad en la infiltración.

Pozos de infiltración



Para el AMSS, dada las altas intensidades en breves márgenes de tiempo, es recomendable, por motivos de seguridad acercar el volumen de almacenamiento al total de escorrentía. Esto da dimensiones un tanto mayores, pero que dejan del lado de la seguridad.

Pero en los casos en lo que esté demostrado mediante ensayo (ver Anexos Ensayos Permeabilidad) que la capacidad de la infiltración del suelo es alta y se puede realizar de manera segura, se puede refinar el balance de masas para realizar un dimensionamiento más ajustado.

Igualmente, se parte de la precipitación de diseño, 5 años de periodo de retorno y una hora de duración si se emplea como medida en origen y con un dren que de salida para $T_r=10$ años o 10 años de periodo de retorno sin dren (aunque la instalación del dren puede valorarse si para eventos extremos si la circulación del excedente es peligrosa por superficie).

Pero en el balance de masas propuesto en los Sistemas de Infiltración del Módulo 2 hay que incluir la salida de agua por infiltración. Para concretar mejor las dimensiones se propone realizar el balance de masas discretizado en el tiempo. Es decir, comparar el volumen acumulado con el que se puede infiltrar en el suelo cada cierto intervalo de tiempo durante 24 horas, que es el tiempo en el que la estructura ha de quedar vacía, y el valor mayor de la diferencia entre el volumen acumulado precipitado y el infiltrado, será el tamaño mínimo que debe tener el pozo.

Diseño de los elementos adicionales

Entrada al sistema

Las entradas a estos sistemas son de tipo puntual. Pueden producirse desde la superficie (por ejemplo, un bajante de una cubierta que desemboca sobre el pozo) o desde un tubo procedente de un pretratamiento.

Si el agua a infiltrar procede de áreas aportantes donde se acumulen partículas o sedimentos, se ha de instalar una cámara de decantación previa a la entrada en el pozo para prevenir colmataciones. Su volumen puede estimarse aproximadamente como la mitad del volumen de almacenamiento neto del pozo.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

También es recomendable poner un rebase, es decir, una cámara desde la que se evacúa el exceso de agua antes de que entre al pozo. Éste no debe recibir más cantidad de agua de la que le corresponde por diseño ya que así se favorece que se colmate rápidamente.

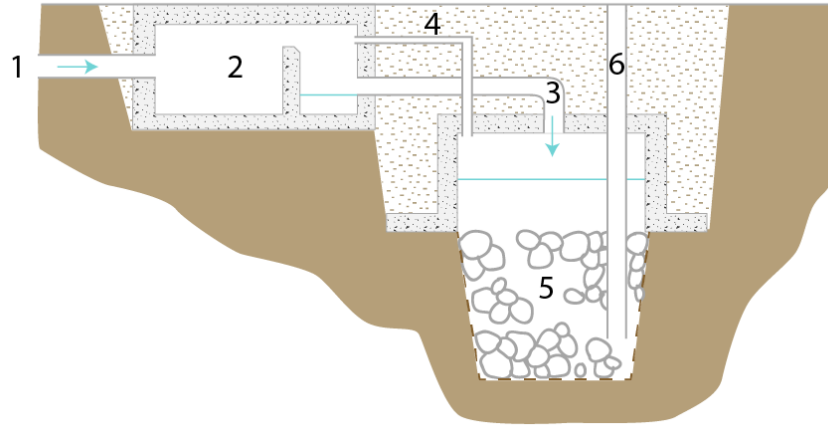
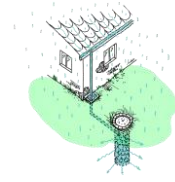


Figura 12. 7. Sección de pozo de infiltración con cámara de sedimentación. 1. Entrada de caudal. 2. Cámara de sedimentación. 3. Entrada de agua al pozo. 4. Respiradero. 5. Pozo de infiltración. 6. Pozo de inspección. Fuente: Adaptación MINVU.

Tubo de control

Se recomienda instalar un tubo piezométrico para inspeccionar el nivel de agua en el interior del pozo de infiltración. Este elemento de control puede consistir en un tubo vertical de 50 mm de diámetro, perforado, abierto en la base y envuelto en geotextil, con la parte superior externa cerrada con una tapa para evitar que se introduzcan partículas no deseadas.



03. CONSTRUCCIÓN

La construcción de un pozo de infiltración no demanda de particularidades especiales, se trata de una excavación rellena por un material poroso que permite el almacenamiento de agua mientras se infiltra, arena que hace las veces de filtro y un geotextil que sirve para delimitar el pozo en el subsuelo. En caso de que el pozo sea de gran envergadura, en vez de geotextil, se emplearán anillos ranurados de hormigón.

Recomendaciones en el proceso constructivo:

- Tanto si la excavación es manual o mecánica deberán tomarse medidas para impedir los desprendimientos.
- Evitar todo ingreso de material fino y sedimentos en el pozo durante la construcción para limitar su posible colmatación. Tampoco debe entrar la escorrentía en él hasta que no esté finalizado y operativo.
- Las dimensiones de diseño se deben mantener durante la construcción para asegurar su correcto funcionamiento.
- Comprobar que la porosidad eficaz del material antes de comenzar el relleno, con el fin de evitar una reducción del volumen de almacenamiento. Para el relleno se requieren materiales limpios y en lo posible previamente lavados
- Respecto a los geotextiles, hay que manejarlos con cuidado para no rasgarlos y evitar en ellos la presencia de finos que puedan colmatarlos.
- Al finalizar la construcción es recomendable realizar una prueba del funcionamiento del pozo llenándolo de agua y comprobando que se vacía en el tiempo estimado en diseño.



04. MANTENIMIENTO

Los pozos de infiltración requieren un mantenimiento regular para asegurar un adecuado funcionamiento hidráulico.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

Limpieza de las áreas drenantes a los pozos.	Anualmente (o cuando se requiera según inspecciones)
Limpieza de filtros o pretratamiento	Anualmente (o cuando se requiera según inspecciones)
Cortar las raíces que puedan estar causando bloqueos	Anualmente (o cuando se requiera según inspecciones)

Tabla 12. 15. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

Tareas de mantenimiento ocasional

Eliminación del sedimento de la cámara de decantación	Según la inspección o cuando el volumen acumulado alcance el 25% de la cámara
---	---

Tabla 12. 16. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

Limpieza del fondo del pozo y el material poroso	Cuando sea requerido
Sustitución del geotextil superior	Cuando sea requerido según inspección

Tabla 12. 17. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Monitorización

Inspeccionar el funcionamiento del pozo	Inspeccionar el funcionamiento del pozo
Mínimo una vez por época de lluvias	Mínimo una vez por época de lluvias

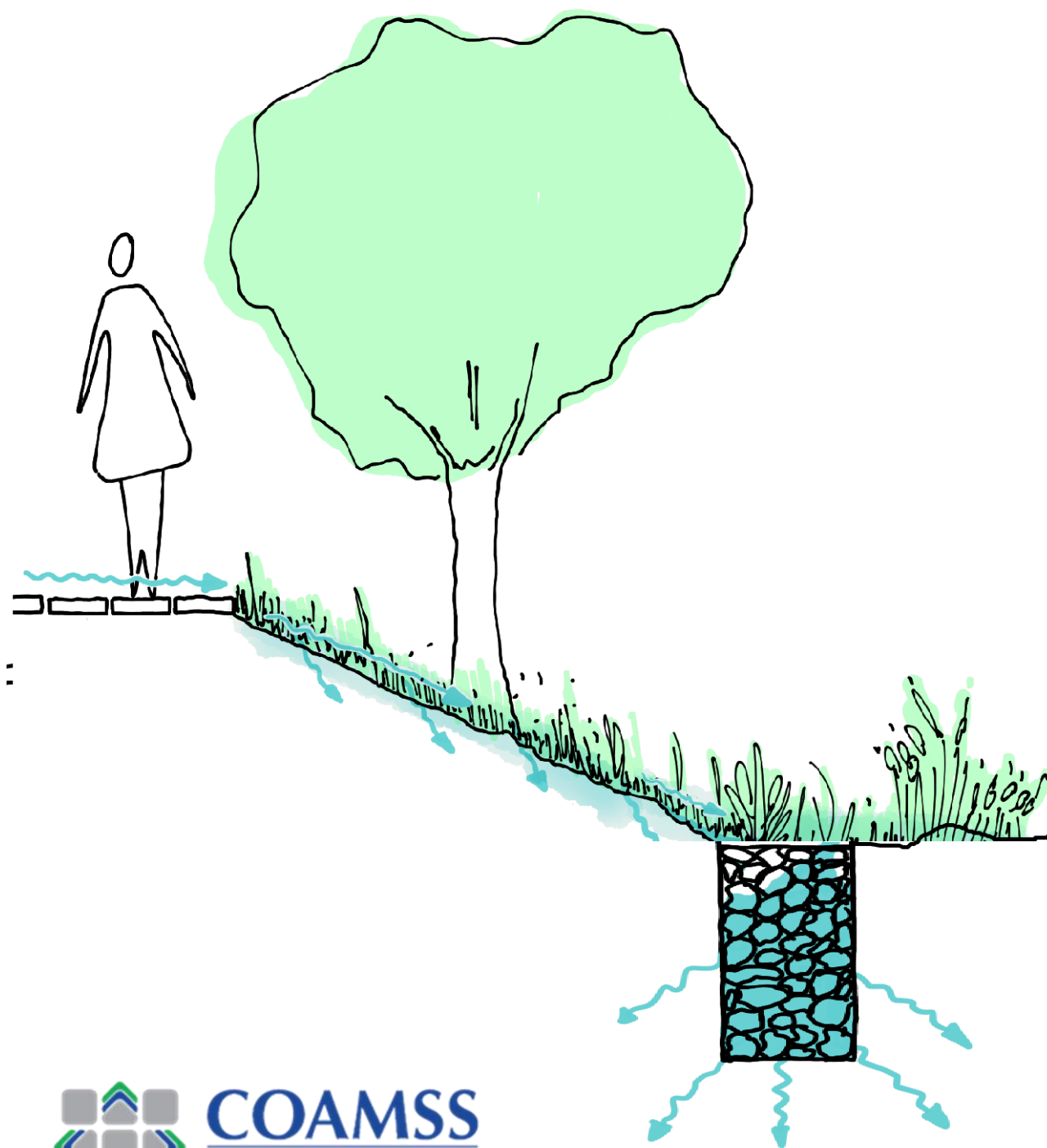
Tabla 12. 18. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)



Sistemas Urbanos de Drenaje
Sostenible en el AMSS

ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Capítulo 13



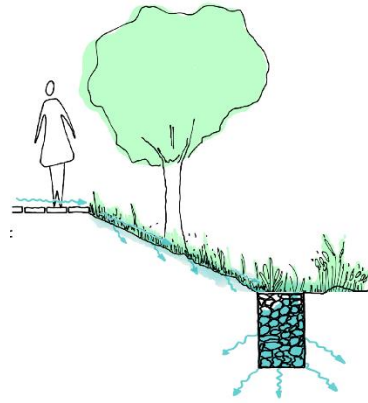
COAMSS
OPAMSS

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Zanjas infiltración

Capítulo 13

de



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

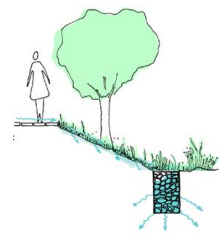
03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Trincheras de poca profundidad (1 a 3 m) rellenas de material poroso, a los que vierte la escorrentía de superficies contiguas y sirven para recoger y almacenar el agua de escorrentía hasta que se produce la infiltración de la misma al terreno natural. No pueden utilizarse en suelos poco permeables y deben quedar por encima del nivel freático.

Zanjas de infiltración



¿Cómo funcionan?

A ellos va a parar el agua de escorrentía procedente de las zonas adyacentes, la almacenan mientras ésta se va infiltrando en el subsuelo.

Control de la cantidad de agua

Las zanjas ofrecen una buena gestión de los volúmenes de escorrentía, puesto que están diseñadas para infiltrar toda o gran parte del agua que les llega.

Control de la calidad del agua

El relleno poroso atrapa los sedimentos, con lo que mejora la calidad de aguas pluviales. En algunas ocasiones, las aguas que entran en la zanja deben ser pre-tratadas a través de una franja filtrante para eliminar la materia gruesa.

Valor paisajístico y medioambiental

No proporcionan una mejora del paisaje y no agregan valor ecológico.

Componentes

Capa superior

En la parte superior, por encima de la lámina envolvente de geotextil, a modo de una primera capa protectora, puede ponerse tanto una capa fina de gravilla como una fina lámina de suelo con grama.

Geotextil

El relleno de la zanja debe estar revestido con un geotextil (tejido filtrante) con características como las especificadas en el Módulo 2.

El material de la tela del filtro debe ser compatible con las texturas del suelo circundante y los propósitos de la aplicación. La parte inferior de la zanja puede cubrirse con una capa de arena limpia en lugar del geotextil. Se recomienda emplear geotextiles de materiales sintéticos, no tejidos, de permeabilidad al menos igual a 10 veces la permeabilidad del suelo.

Medio filtrante o de acumulación

Puede estar compuesto de celdas plásticas o gravas, en este último caso han de permitir que el espacio de huecos sea del 40% por lo que el diámetro recomendado es entre 4 y 7,5 cm. Las celdas plásticas tienen un espacio de hueco mucho mayor, más del 90% pero las dimensiones están fijadas según la casa comercial (aunque se pueden agrupar en grandes extensiones lineales puesto que son modulares).

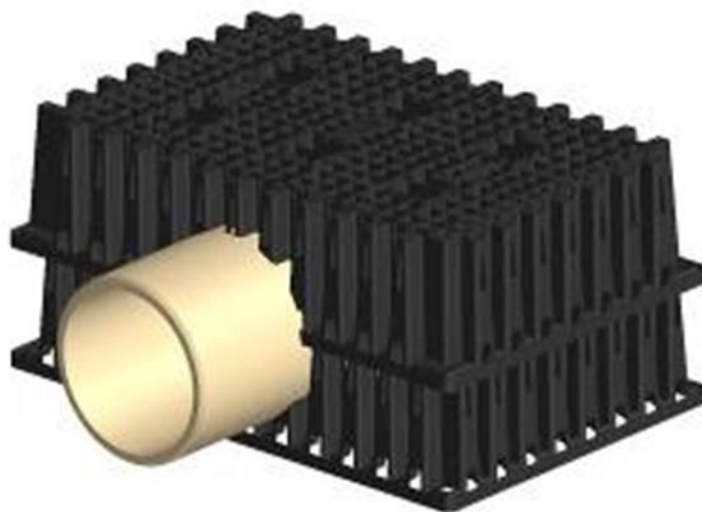


Figura 13. 1. Celda plástica para el almacenamiento e infiltración de las aguas lluvias con espacio para colector de salida o entrada. Fuente: Durman.

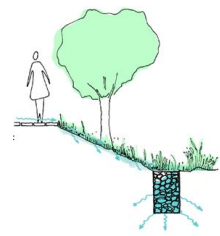
Pozo de observación

Se recomienda colocar un tubo, anclado verticalmente y con una tapa superior protectora que evite que se introduzcan elementos por él. Este tubo ha de ir ranurado para que en las inspecciones se pueda observar el nivel del agua en todo momento que dará nota de la rapidez con la que se infiltra o si es necesaria alguna intervención porque el nivel de agua no desciende.

Lecho de arena

En el fondo de la zanja puede colocarse una capa de pocos centímetros de arena que favorece la filtración de la escorrentía a tratar.

Zanjas de infiltración



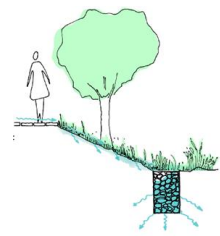
Elementos adicionales

Pretratamiento

Los elementos de infiltración son susceptibles a altas tasas de fracaso debido a la obstrucción por sedimentos, por lo tanto, requieren de un pretratamiento de la escorrentía para eliminar la mayor cantidad posible de sólidos suspendidos antes de que lleguen a la zanja.

• Usos típicos Recogida de agua de zonas adyacentes a caminos, parkings, en zonas residenciales, comerciales e industriales.	
• Ventajas: Atenúan de forma significativa el volumen de agua de escorrentía y laminan el caudal pico. Se integran fácilmente en el paisaje, ya que son poco visibles Reducen la erosión del suelo Mejoran la calidad del agua de escorrentía. Favorecen la recarga de acuíferos. Habilitan el almacenamiento de la precipitación y aprovechamiento del agua para otros usos. Sin restricciones topográficas para su instalación Ocupan poco espacio	• Limitaciones: Riesgo de colmatación: se pueden obstruir con facilidad, por lo que no se recomiendan localizarlos en suelos particulados finos (aquellos constituidos por limos o arcillas). Las acumulaciones de contaminantes y las obstrucciones son difíciles de ver. Limitados a pequeñas áreas drenantes. Capacidad de almacenamiento reducida en comparación con otros SUDS Riesgo de colmar el subsuelo y acuífero si está cerca Requiere de inspecciones y mantenimiento periódicos
• Requisitos de mantenimiento: Hay que inspeccionarlas para revisar posibles obstrucciones. Retirada de sedimentos. Retirada y limpieza de los materiales filtrantes.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Medio Reducción de volumen: Alto Tratamiento de calidad de agua: Alto Potencial beneficio social/urbana: Bajo Potencial ecológico: Bajo

Tabla 13. 1. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA (2015)



02. DISEÑO

Análisis de los condicionantes de diseño

Ubicación

Las zanjas son elementos lineales que se pueden instalar en suelos con pendientes limitadas, aunque puede aterrazarse para que no pierdan capacidad de almacenamiento. Se recomienda siempre mantener una distancia mínima con la colindancia vecinal. Suelen ser apropiadas gestionar el agua de pequeñas áreas impermeables. Se pueden incorporar eficazmente al ajardinamiento y a los espacios verdes públicos. Si se les cubre de vegetación pueden formar parte de un área de césped, lo que les confiere un doble uso (aunque el mantenimiento será algo más minucioso).

Pendiente del terreno

Están generalmente restringidas a lugares sin pendientes significativas, la pendiente longitudinal no debe exceder el 6%, ya que se requieren velocidades bajas para la eliminación de contaminantes y para promover la infiltración. El fondo de la zanja debe ser horizontal. Si el terreno presenta una pendiente a lo largo de la zanja, la altura de ésta es la del extremo de menor profundidad. Para no perder mucha capacidad de almacenamiento, es conveniente dividir la zanja a lo largo en tramos de longitud máxima.

$$L_{max} = \frac{H_z}{2S}$$

Ecuación 13. 3. Longitud del tramo que ha de tener la zanja cuando se divide para aterrazarla.

H_z , profundidad de la zanja

S , pendiente del terreno (m/m)

Suelo

La distancia al nivel freático debe estar a más de 3 m por debajo de la base de la instalación.

No deben situarse en terrenos inestables y la estabilidad del suelo debe ser verificada evaluando las condiciones del suelo y las aguas subterráneas. Tampoco son aptos los terrenos con suelos con una permeabilidad menor que 10^{-5} m/s.

Deben permitirse drenar y volverse a airear entre los eventos de lluvia. Por lo tanto, no deben utilizarse en sitios con flujo continuo de agua.

Dimensionamiento

El dimensionamiento de las zanjas de infiltración puede realizarse tal y como se indica en el Módulo 2.

Igualmente, se parte de la precipitación de diseño, 5 años de periodo de retorno y una hora de duración si se emplea como medida en origen y con un dren que de salida para $T_r=10$ años o 10 años de periodo de retorno sin dren (aunque la instalación del dren puede valorarse si para eventos extremos si la circulación del excedente es peligrosa por superficie).

Para concretar mejor las dimensiones se propone realizar el balance de masas discretizado en el tiempo. Es decir, comparar el volumen acumulado con el que se puede infiltrar en el suelo cada cierto intervalo de tiempo durante 24 horas más el volumen que puede salir por un dren inmerso en el lecho de gravas para conocer el tiempo en el que la estructura ha de quedar vacía, y el valor mayor de la diferencia entre el volumen acumulado precipitado y el infiltrado y/o drenado, será el tamaño mínimo que debe tener la zanja.

Diseño de los elementos adicionales

Entrada al sistema

Las entradas a estos sistemas pueden ser de tipo puntual, pero se recomiendan que sean lineales. Preferiblemente por los laterales mediante una franja de grama o de grava que hace de pretratamiento.

En caso de que la entrada sea puntual en un extremo de la zanja, se puede instalar una cámara de sedimentación desde la que sale un tubo ranurado que

Zanjas de infiltración



discurre sobre la superficie de la zanja distribuyendo el caudal de entrada. Ese tubo ha de tener un diámetro mínimo de 200 mm y una longitud máxima de 50 metros, para mayores longitudes se recomienda instalar cámaras o cajas intermedias.

Tubo de control

Se recomienda instalar un tubo piezométrico para inspeccionar el nivel de agua en el interior de la zanja. Este elemento de control puede consistir en un tubo vertical de 50-100 mm de diámetro, perforado, abierto en la base y envuelto en geotextil, con la parte superior externa cerrada con una tapa para evitar que se introduzcan partículas no deseadas. Se deben localizar mínimo uno por zanja y para zanjas largas, 1 cada 25 metros.

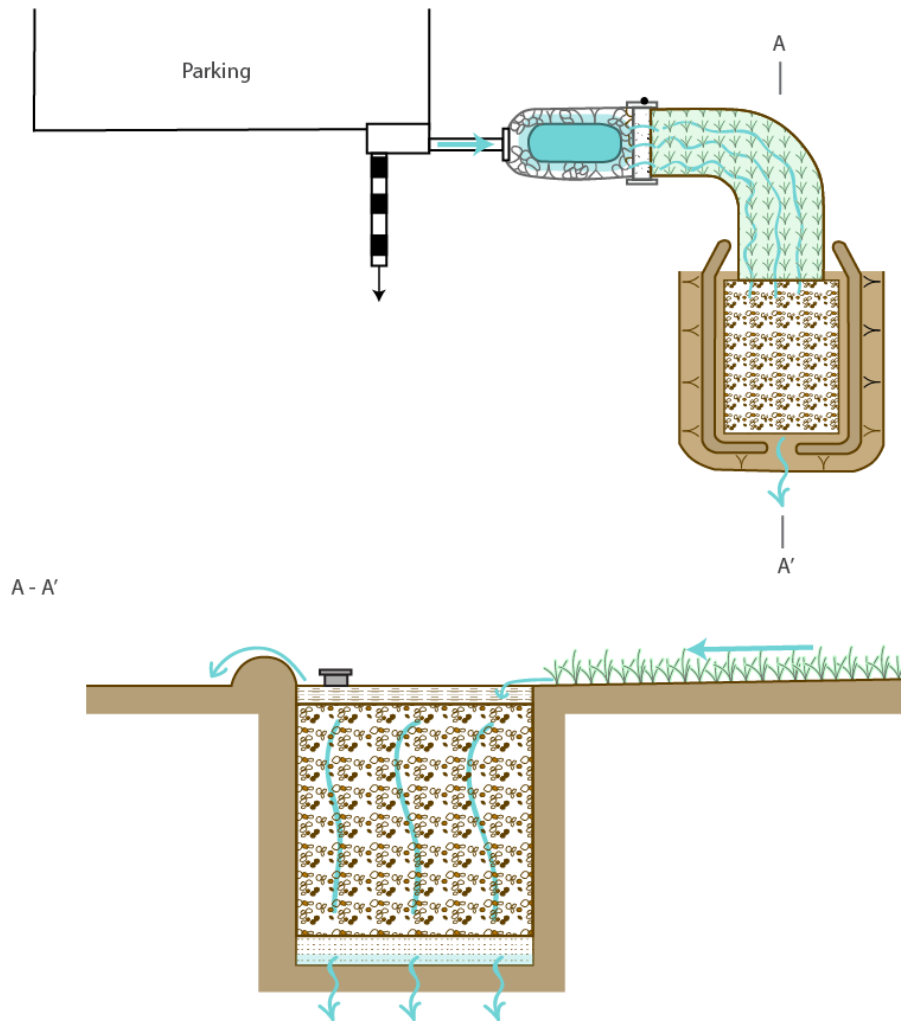


Figura 13. 8. Planta y sección de una zanja de infiltración con pretratamiento a la entrada. Sin escala.
Fuente: Adaptación de Charlotte-Mecklenburg BMP Design Standards Manual

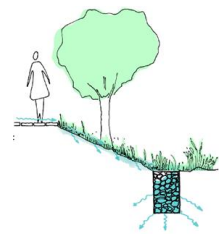
03. CONSTRUCCIÓN

Recomendaciones en el proceso constructivo:

- Evitar los aportes de tierra, si estas estructuras forman parte de proyectos urbanísticos se deben dejar para el final del proceso constructivo del proyecto completo. También debe impedirse la entrada de escorrentía hasta que no esté completamente finalizada su construcción.
- Corroborar que las dimensiones de la zanja se corresponden con las de diseño hidráulico ya que las variaciones (aunque se mantenga el volumen de excavación) modifican el funcionamiento de la técnica.
- En caso de que se incluyan tuberías de distribución para la entrada de caudal o drenes subterráneos para la salida, se debe controlar su pendiente y alineación durante su instalación, antes de que queden totalmente tapados por el relleno de la zanja.
- Se debe verificar in situ o en laboratorio la porosidad del material empleado como lecho de almacenamiento.
- En caso de recubrimiento con filtros geotextiles, se deberá tener especial cuidado en su colocación, comprobando que no hay roturas y que recubren completamente el relleno.
- Constatar su adecuado funcionamiento hidráulico mediante ensayos de relleno con agua y observación del tiempo de vaciado.



Imagen 13. 5. Construcción de una zanja de infiltración con celdas plásticas. Fuente: Amanco



04. MANTENIMIENTO

Las principales tareas a realizar en el mantenimiento de estos sistemas son:

- Limpieza de áreas aportantes y de los filtros o pretratamiento
- Si hay vegetación cerca habrá que revisar que no le alcancen las raíces
- Sustituir el geotextil en caso de rotura
- Sacar y lavar el relleno de hacer falta.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

Limpieza de las áreas drenantes.	Anualmente (o cuando se requiera según inspecciones)
Limpieza de filtros o pretratamiento	Anualmente (o cuando se requiera según inspecciones)
Cortar las raíces que puedan estar causando bloqueos	Anualmente (o cuando se requiera según inspecciones)

Tabla 13. 2. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

Tareas de mantenimiento ocasional

Eliminación del sedimento de la cámara de decantación	Según la inspección o cuando el volumen acumulado alcance el 25% de la cámara
---	---

Tabla 13. 19. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

Limpieza del material poroso	Cuando sea requerido
Sustitución del geotextil superior	Cuando sea requerido según inspección

Tabla 13. 4. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Monitorización

Inspeccionar el funcionamiento	Mínimo una vez por época de lluvias
--------------------------------	-------------------------------------

Tabla 13. 5. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

SUPERFICIES PERMEABLES

Capítulo 14



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Superficies Permeables

Capítulo 14



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Son superficies que dejan pasar el agua a su través, permitiendo que ésta se infiltre por el terreno o bien sea captada y retenida en capas subsuperficiales para su posterior reutilización o evacuación.

Si el SUDS se compone de varias capas, todas ellas han de tener permeabilidades crecientes desde la superficie hacia el subsuelo. Este tipo de sistemas están constituidas por un volumen de material permeable situado bajo una superficie que permite el paso del agua. Las aguas lluvias atraviesan la superficie permeable hasta la capa inferior que sirve de reserva, atenuando de esta forma las puntas del flujo de escorrentía superficial y dejando parte de los contaminantes en suspensión allí retenidos.

Este tipo de técnica de drenaje urbano sostenible puede utilizarse para áreas drenantes inferiores a 4 hectáreas con pendientes inferiores a 2-5%. La distancia hasta el nivel freático ha de ser superior a los 3 metros y la capacidad de infiltración recomendada del terreno de buena a moderada (en normas internacionales el valor mínimo recomendado está en torno a los 13 mm/h) ya que capacidades inferiores hacen que el agua, que arrastra partículas, circule más lento y éstas se depositen en los poros, pudiendo colmatar el suelo y el sistema.



¿Cómo funcionan?

El agua pasa a través de la superficie hacia el material de relleno subterráneo. Esto permite el almacenamiento, tratamiento, transporte y la infiltración de agua. Tanto la superficie y como la sub-base de un pavimento deben permitir el paso del agua. Por esta razón, el asfalto poroso construido sobre una base impermeable convencional no puede considerarse una superficie permeable.

Control de la cantidad de agua

Estos sistemas son una aplicación excelente para la reducción de cantidad de agua. El volumen de agua almacenado depende del volumen de huecos del relleno permeable o de la sub-base, y del área y la profundidad del material de relleno. El volumen de agua puede ser infiltrado a capas inferiores del suelo, evacuado por un desagüe subterráneo, o recogido para su posterior utilización.

Control de la calidad del agua

El relleno permeable o subbase atrapa los sedimentos, mejorando la calidad de aguas pluviales. Investigaciones recientes muestran que también pueden proporcionar algún tipo de tratamiento para otros contaminantes, como aceites o grasas.

Valor paisajístico y medioambiental

La variedad de superficies permeables es suficientemente amplia como para mejorar el aspecto visual de espacios públicos abiertos. Garantizan un uso eficiente del espacio, dando opciones de uso múltiple. En cambio, su aplicación como medida para mejorar el valor ecológico es nula o está muy limitada.



Tipos

Existen diversas clases de superficies permeables, con diferentes capacidades de infiltración, composición, ...algunos ejemplos son:

- Pavimentos continuos de cualquier tipo de mezcla porosa (asfalto, concreto, resinas, etc.)
- Gramoquín
- Gravas
- Bloques impermeables con juntas permeables
- Pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de grama o grava
- Pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno,
- Pavimento de bloques porosos
- Etc

Superficies Permeable



Componentes

Superficie permeable: Puede ser de diferente naturaleza, algunas de las más típicas son:

- Césped o grava con refuerzos.
- Adoquines con ranuras.
- Adoquines porosos.
- Mezcla bituminosa porosa.
- Hormigón poroso.

Base: Capa granular se

Geotextil (opcional).

Sub-base, puede ser:

- Capa granular
- Capa granular tratada con cemento
- Estructuras de plástico

Impermeabilización (opcional), como una geolámina

Dren de salida (opcional)

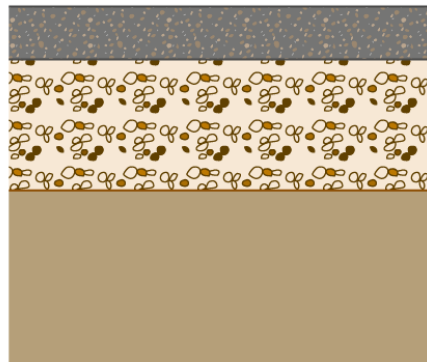


Figura 14. 9. Sección básica de un pavimento permeable: Arriba la superficie de concreto permeable, debajo la subbase granular y finalmente el suelo. Fuente: Adaptación de ISCYC (2015).



• Usos típicos Se emplean en zonas con baja intensidad de tráfico, calles residenciales, zonas de aparcamiento, etc..., no estando recomendados en zonas industriales, gasolineras o lugares en los que se acumulan cantidades de metales pesados importantes.	
• Ventajas: Reducen los picos de caudal disminuyendo el riesgo de inundación aguas abajo. Reducción de los efectos de la contaminación en el agua de escorrentía. Pueden ser usados en zonas de alta densidad poblacional. Reducción de la necesidad de realizar excavaciones profundas para colocación de sistemas de drenaje convencionales, lo que abarata costes. Gran flexibilidad en diseño y tipos. Se pueden usar como parte de un sistema en línea en aquellos lugares donde la infiltración del agua puede conllevar problemas. Permiten un doble uso del espacio, por lo que no es significativa su ocupación en suelo. Reducen o eliminan la presencia de tragantes y colectores. Eliminan el encharcamiento superficial. Con buena aceptabilidad por parte de la comunidad.	• Limitaciones: No pueden utilizarse donde haya arrastre superficial de grandes cargas de sedimentos. Por ahora no se usan en carreteras con tráfico elevado. A largo plazo, si no hay mantenimiento, existe riesgo de crecimiento de malas hierbas y de obstrucciones. Poca aplicación para zonas con tráfico de vehículos pesados y/o velocidades elevadas de circulación. Riesgo elevado de colmatación de la superficie y de fallo estructural, por lo que se requiere un correcto diseño, una ejecución de calidad y un mantenimiento adecuado a las condiciones de aporte de sedimentos y del tráfico.
• Requisitos de mantenimiento: El mantenimiento depende del tipo de superficie permeable, aunque hay algunas pautas generales: Barrido frecuente. Los elementos que se eliminan de capas más profundas como hidrocarburos o metales pesados ha de seguir un tratamiento especial.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Bueno Reducción de volumen: Bueno Tratamiento de calidad de agua: Bueno Potencial beneficio social/urbana: Bajo Potencial ecológico: Bajo

Tabla 14. 20. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA



02. DISEÑO

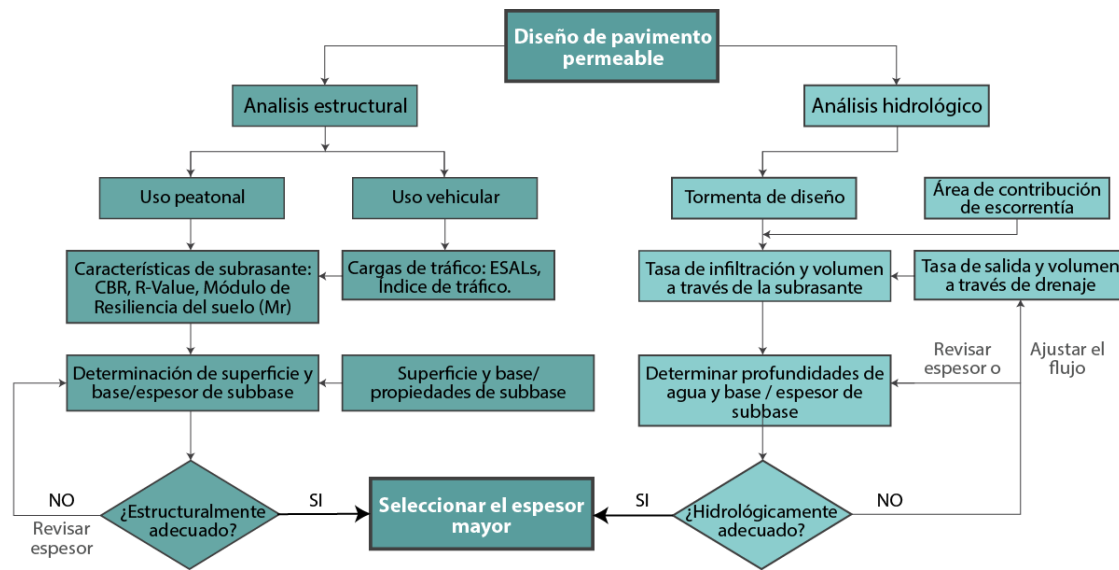


Figura 14. 10. Esquema para el diseño de pavimentos permeables. Fuente: Adaptación de ISCYC

Un buen diseño eficiente debe:

Tener un buen manejo del agua

Soportar la carga de tráfico

El diseño de un pavimento permeable se divide, en las siguientes etapas:

1. Pruebas al suelo
2. Diseño estructural
3. Diseño hidrológico

Esta guía se centra en el diseño hidrológico, para ampliar conocimiento sobre los ensayos al suelo y el diseño estructural, se aconseja acudir a un laboratorio especializado.

Análisis de los condicionantes de diseño

Ubicación

Las superficies permeables son una solución idónea para parques, paseos peatonales, plazas, ...casi cualquier superficie urbana por la que no circulen vehículos pesados. Pero debe evitarse su instalación al lado de zonas con suelo suelto o que generen sedimentos susceptibles de ser arrastrados.



Pendiente del terreno

Están generalmente restringidas a lugares sin pendientes significativas, la pendiente longitudinal no debe exceder el 5%, siendo preferible que quede por debajo del 2%, para facilitar la captación y evitar que el agua escurra rápidamente.

Suelo

Si se va a producir la infiltración, la distancia al nivel freático debe estar a más de 3 m por debajo de la base de la instalación. No deben situarse en terrenos inestables, por lo que previamente al diseño de estos SUDS, se han de realizar los ensayos geotécnicos que determinen la idoneidad de esta técnica.

Dimensionamiento

El dimensionamiento hidrológico de la superficie permeable depende fundamentalmente del volumen de precipitación necesario retener y/o infiltrar. Como medida de control en origen puede dimensionarse para un periodo de 5 años si se asegura la salida controlada para un periodo de retorno de 10 años hacia otro eslabón en la cadena de drenaje (como en el resto de las técnicas en origen, si es eslabón único o el último, se dimensionará a partir de precipitaciones de 10 años de periodo de retorno).

Además, un factor muy importante es la conductividad hidráulica de la superficie previo al dimensionamiento, ha de conocerse ese valor, que ha de ser elevado para permitir que la lluvia intensa la pueda atravesar sin dificultad. Este valor depende del tipo de superficie y se obtiene en ensayos. En el diseño hidrológico de estos SUDS parte de que el agua que precipita sobre ellos para ciertos periodos de retorno se absorbe por completo.

El dimensionamiento del volumen de almacenamiento se puede realizar como se muestra en el Bloque 2. Fase I: Modelo Conceptual, mediante un balance de masas:

$$V_A = V_E - V_S$$

Ecuación 14. 1. Ecuación de Manning para la estimación de la velocidad de flujo.

V_A , Volumen de almacenamiento

Superficies Permeable



V_E , Volumen de entrada que equivale al precipitado directamente sobre la zona V_{Ll} y, si recibe aportes de suelo impermeable V_{Imp} , la suma de ambos volúmenes $V_E = V_{Ll} + V_{Imp}$

V_S , Volumen de salida del sistema.

La salida de las aguas del sistema puede ser por infiltración total (toda el agua se infiltra), por infiltración parcial (sólo se infiltra una parte) o por dren colector V_D (nada del agua se infiltra y sale conducida hacia el punto de vertido u otros sistemas de gestión de aguas lluvia)

$$V_S = V_I + V_D$$

Ecuación 14. 2. Ecuación de Manning para la estimación de la velocidad de flujo.

La capacidad total de almacenamiento del sistema puede incluir la capacidad de la misma superficie porosa, la de la base, la subbase (de gravas o celdas plásticas) e incluso la de una lámina de almacenamiento sobre la superficie

$$V_A = S_P \cdot (H_{LA} + n_{SP} \cdot H_{SP} + n_{CB} \cdot H_{CB} + n_{CA} \cdot H_{CA})$$

Ecuación 14. 3. Ecuación de Manning para la estimación de la velocidad de flujo.

S_P , Superficie permeable

H_{LA} , Altura de la lámina de agua sobre la superficie

H_{SP} , Altura de la superficie permeable

n_{SP} , porosidad de la capa permeable

n_{CB} , porosidad de la capa

H_{CB} , Altura de la capa base

n_{CA} , porosidad de la capa de almacenamiento (sub-base)

H_{CA} , Altura de la capa de almacenamiento (sub-base)

Generalmente, se dimensiona para que todo el volumen de almacenamiento se acumule en una capa específica (sub-base y base), quedando las superiores si saturar. Esto requiere volúmenes mayores, pero deja un margen de seguridad.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Respecto a la salida de caudal, pueden darse tres situaciones:

A. Que todo el volumen a gestionar se infiltre

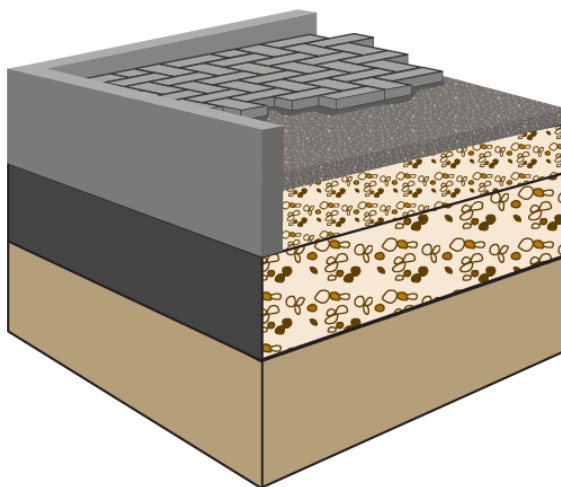


Figura 14. 11. Sección de superficie permeable con infiltración total. En la parte superior adoquines por cuyas juntas pasa el agua, después una capa de área, subbase, capa de almacenamiento y suelo natural
Fuente: ISCYC

En ese caso $V_D = 0$. Como en el AMSS las intensidades de precipitación son muy altas, si consideramos despreciable la tasa de infiltración respecto al valor de los milímetros por minuto que precipitan, se puede simplificar a $V_A = V_E$, quedando:

$$V_A = V_E = S_P \cdot (H_{LA} + n_{SP} \cdot H_{SP} + n_{CB} \cdot H_{CB} + n_{CA} \cdot H_{CA})$$

Ecuación 14. 4. Ecuación de Manning para la estimación de la velocidad de flujo.

Las porosidades de las capas vienen determinadas por el material que las constituyen. En la capa propiamente destinada a almacenar el agua se suelen emplear gravas de con el 40% de huecos o celdas plásticas que alcanzan más del 90%. Partiendo de una variable: porosidad del material a emplear, superficie máxima a ser convertida en permeable o profundidad máxima a la que se pueda trabajar; el proyectista puede estimar las demás y ajustar las dimensiones según proyecto.

Una vez dimensionada la superficie permeable, se deberá comprobar que el tiempo de permanencia del agua en el sistema no permanece en él más de 24 horas tal y como se especifica en el Módulo 2.

Superficies Permeable



B. Que no se produzca infiltración:

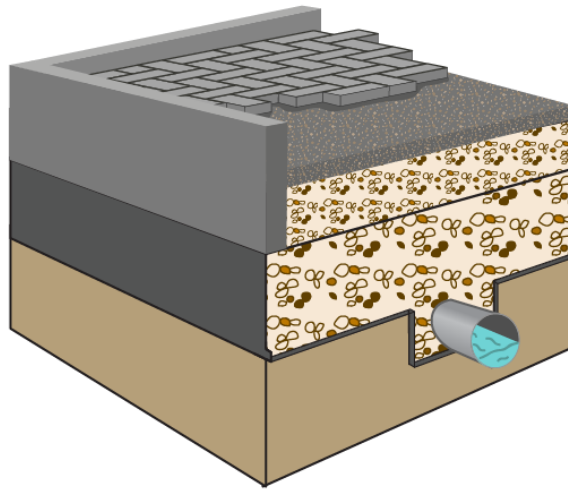


Figura 14. 12. Sección de superficie permeable con lámina impermeable y dren de salida del caudal filtrado. Fuente: ISCYC

Sección de superficie permeable sin infiltración. Fuente: ISCYC

$$V_A = V_E - V_D$$

Ecuación 14. 5. Ecuación de Manning para la estimación de la velocidad de flujo.

En suelos donde no se pueda producir la infiltración, se debe instalar un tubo dren que desagüe el volumen almacenado hacia otro sistema de gestión de pluviales o su vertido al medio.

Las superficies permeables actúan como sistemas de retención, por lo que el caudal de salida a través del dren será el factor limitante en el dimensionamiento del volumen de almacenamiento.

El caudal circulante por el tubo dren se puede calcular como:

$$Q_S = C(h - H_d)^n$$

Ecuación 14. 6. Estimación del volumen adicional aportado por el lecho filtrante.

En la retención, todo el volumen que entra sale, pero con un retardo en el tiempo que en este caso viene dado por las dimensiones del dren. Conocidos el tiempo de retardo y el volumen total a evacuar que es el mismo de entrada, se pueden conocer las dimensiones de este como se muestra en el Módulo 2.



C. Que se produzca infiltración parcial:

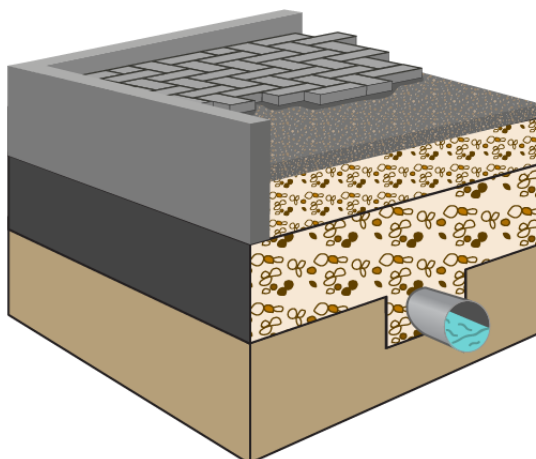


Figura 14. 13. Sección de superficie permeable con infiltración parcial, el dren evacúa el volumen de agua que no puede infiltrarse Fuente: ISCYC

En las situaciones en que la tasa de infiltración del subsuelo no sea suficiente para evacuar el sistema en menos de 24 horas, debe instalarse un dren colector, de igual manera que en el caso anterior, pero el volumen a transportar no será el total precipitado, sino la diferencia entre éste y el que se infiltra.

Dimensionamiento en suelos con pendiente

En la estimación de volúmenes se ha partido de la base de que el suelo está nivelado, pero si la superficie no está nivelada, y la intensidad de lluvia es mayor que la tasa de infiltración del suelo, la porción superior de la losa no se llenará y rápidamente correrá hacia aguas abajo, de manera que parte del volumen de almacenamiento no se llena. El proyectista deberá incluir estas pérdidas de volumen en el dimensionamiento y, en sistemas de gran longitud se recomienda el uso de terracería o incluir pequeñas presas espaciadas a lo largo del tramo con pendiente, para incrementar el volumen de almacenamiento.

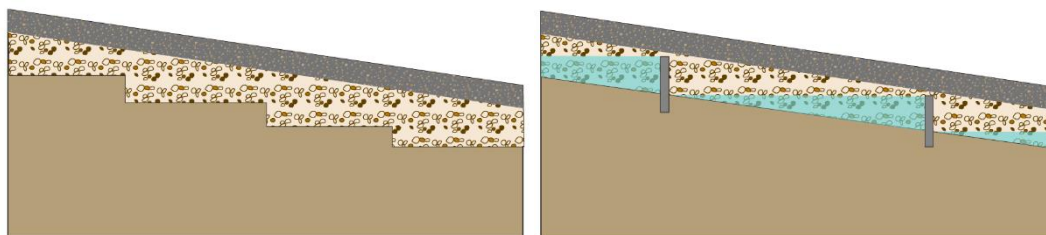


Figura 14. 14. A la izquierda aterrazamiento del fondo y a la derecha pequeñas presas para incrementar la capacidad de almacenamiento. Fuente: ISCYC. Fuente: ISCYC



03. CONSTRUCCIÓN

Las superficies permeables son de diferente naturaleza, por lo que los procesos constructivos pueden variar de una a otra. Pero todas, además de satisfacer los mismos requerimientos constructivos que los pavimentos tradicionales, necesitan de un control y una instalación más rigurosos para prevenir un futuro mal funcionamiento hidráulico del sistema.

El ISCYC, propone los siguientes pasos en el proceso constructivo de las superficies de concreto permeable:

Preparación de la Subrasante y de la Sub base

La subrasante de suelos permeables para un pavimento de concreto permeable debe ser compactada de manera uniforme y suficiente para proporcionar el apoyo adecuado del pavimento, pero no sobre compactado a fin de evitar reducir la permeabilidad.

En el proceso constructivo de la preparación de la subrasante debe asegurarse que se obtenga el espesor requerido del pavimento todo el sitio

Se debe evitar en la medida de lo posible el tráfico fuera de la subrasante durante la construcción

La compactación para obtener la elevación de la subrasante definitiva, tener en cuenta que el grado de compactación no deberá excederse de un 95 siendo 90 el ideal

Se debe testar la permeabilidad de la subrasante de acuerdo a la norma ASTM D 3385 antes de la colocación del concreto, la nivelación juega un papel importante: si el nivel de suelo de subrasante es totalmente plano, podrá captar mayor cantidad de lluvia, mientras que en sitios con pendientes, requerirá de obras adicionales

Formaletas

Las formaletas han de colocarse, alinearse y asegurarse para soportar el equipo que compacta el concreto. Después se les debe aplicar un producto desmoldante en la cara interior que estará en contacto con el concreto permeable. Su ancho no deberá exceder los 6 metros.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Elaboración y Transporte del Concreto Permeable

La elaboración y mezcla ha de realizarse en cumplimiento con la norma ASTM C 94 /C 94 M

Las mezcladoras de camión han de trabajar a la velocidad designada para el mezclado o la recomendada por el fabricante para 75 a 100 revoluciones del tambor

La mezcla de los agregados con el cemento debe realizarse en una planta de producción y el agua en el camión mezclador como mucho una hora antes de su instalación. Si se emplean varios simultáneamente, cada uno de ellos se debe inspeccionar para comprobar la apariencia de uniformidad del concreto. La descarga debe ser una operación continua y finalizarse lo más rápidamente posible.

Colocación y Compactación del Concreto

El concreto se coloca directamente en la sub base o subrasante previamente humedecida, a una altura uniforme. Tras esto ha de distribuirse uniformemente con rastrillos o palas (no debe permitirse el paso de personas por el concreto fresco).

El equipo que posteriormente compactará el concreto no debe utilizar las paletas de acero o de equipos que sellen los poros de la superficie. El espesor de la capa deberá ser el especificado en el diseño.

Acabado

Curado y protección. Los procedimientos de curado deben comenzar antes de 20 minutos después de la colocación. La superficie de pavimento se debe cubrir con una lámina de polietileno u otra película apropiada para evitar la pérdida de agua necesaria para la hidratación del cemento.

Los procesos constructivos varían en si la superficie es continua, modular (bloques o losas separadas que permiten el paso del agua), con césped, con gravas.... También si el elemento de almacenamiento es solo una capa de concreto permeable, o una subbase de gravas o de celdas plásticas, ya que determinará los materiales a emplear que influyen en el proceso de instalación.

Superficies Permeable



A modo de recomendaciones generales, en la construcción de pavimentos permeables, se debe:

- Adoptar precauciones para evitar la colmatación en la fase de construcción, es importante impedir toda entrada de tierra por lo que se debe tapar las superficies adyacentes susceptibles de generar partículas sueltas y finos y proteger las entradas de agua al sistema antes de su puesta en marcha. También es importante evitar el tránsito de personas sobre la superficie durante su construcción y la acumulación de materiales (incluidos los propios de construcción del sistema de superficie permeable)
- Aparte de cumplir los requerimientos estructurales en su instalación, se han de respetar las dimensiones estimadas en el diseño hidrológico, para que se desempeñe su función como SUDS correctamente.
- Los materiales a emplear para el almacenamiento (aparte de revisarse a su recepción que cumplen con los requisitos de diseño y que cumplen con las normas de calidad) deben estar limpios y lavados antes de su colocación de manera que estén libres de material fino que puede formar una capa impermeable una vez que la obra entra en servicio.
- Si se emplean geotextiles se debe comprobar que no presentan rasgos y cuidar de no hacérselos durante su manejo, así mismo, la capa debe estar correctamente extendida y cubriendo la superficie especificada en diseño.
- Si se utilizan geomembranas no han de estar expuestas al sol ni a la intemperie durante largos períodos de tiempo y cuidar en su manejo que no se rasguen. Y tras su instalación, antes de proceder al relleno, ha de verificarse su estanqueidad.
- Si el diseño incorpora un dren, se debe comprobar su funcionamiento hidráulico antes de instalarse. Durante la colocación se debe controlar que su pendiente y alineación se corresponda con el diseño y se evitará desplazarlo en las incorporaciones del resto de materiales.



04. MANTENIMIENTO

La vida útil de las superficies permeables depende de lo que tarden en colmatarse, por ello en el proceso de diseño se deben establecer las tareas mínimas a realizar en la misma superficie y zonas adyacentes para asegurar que el pavimento no vea muy mermada su capacidad de absorber el agua. La principal acción en estos casos es la limpieza de la superficie permeable, que se puede hacer con barrido manual o mecánica (como las máquinas autopropulsadas con equipo de lavado succión trasero con agua).

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

Aspirado y barrido de la superficie	Una vez al año, o cuando sea necesario
-------------------------------------	--

Tabla 14. 21. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

Tareas de mantenimiento ocasional

Eliminación de malezas o hierbas que hayan podido crecer	Cuando se requiera según inspecciones, mínimo una vez al año
Siega de la vegetación de las zonas adyacentes	Cuando se requiera según inspecciones

Tabla 14. 22. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

Reparación y sustitución (en caso de ser necesario) de las zonas dañadas, que presenten grietas o depresiones de la superficie	Cuando sea requerido
--	----------------------

Tabla 14. 23. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA

Monitorización

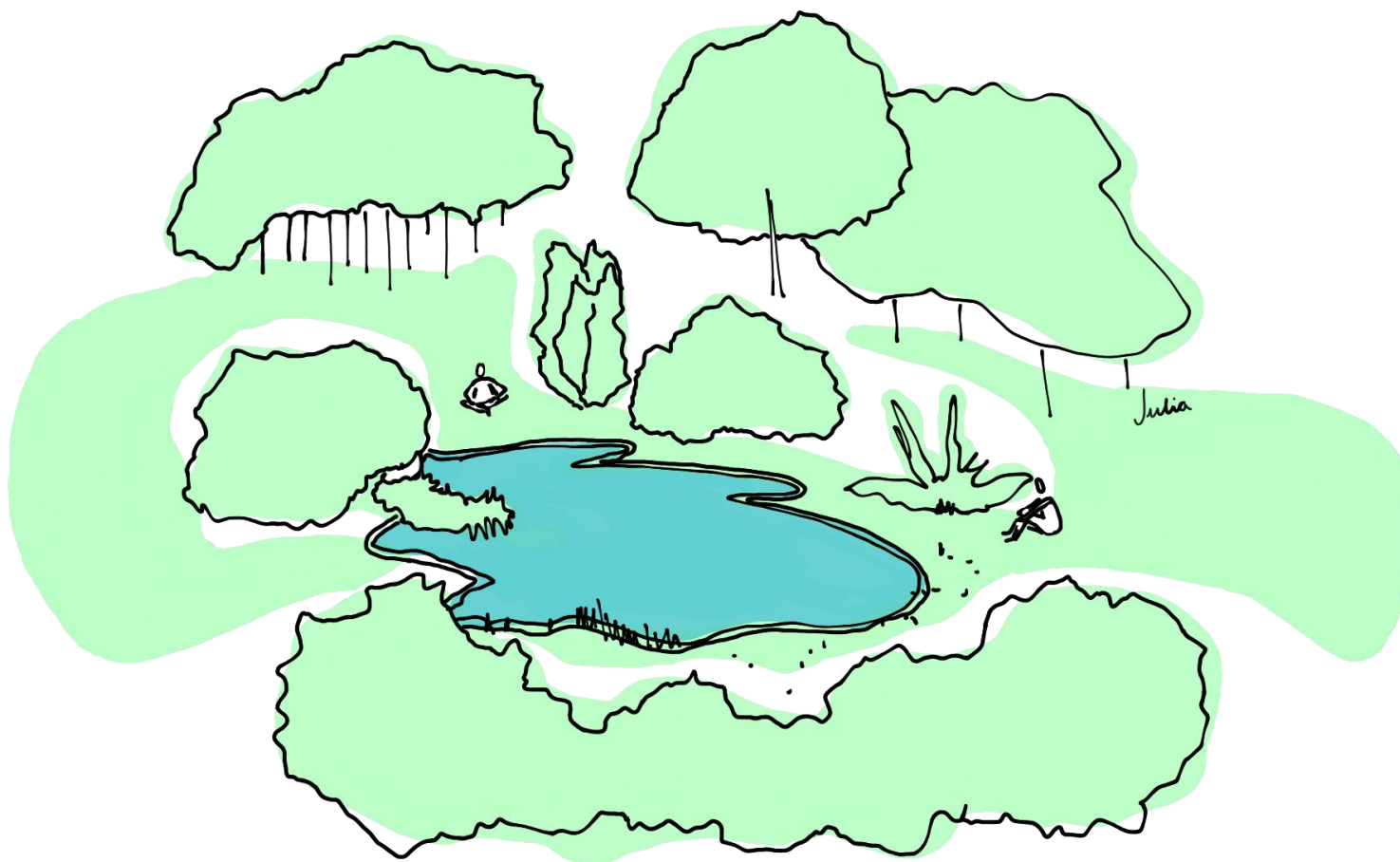
Inspección inicial	Mensualmente el primer trimestre
Revisión en búsqueda de mala operatividad	Trimestralmente y tras tormentas fuertes los seis primeros meses de su instalación
Inspección para comprobar la acumulación de sedimentos sobre la superficie y establecimiento de las frecuencias de limpieza	Una vez al año mínimo

Tabla 14. 24. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Hoja dejada intencionadamente en blanco

LAGUNAS DE INFILTRACIÓN

Capítulo 15

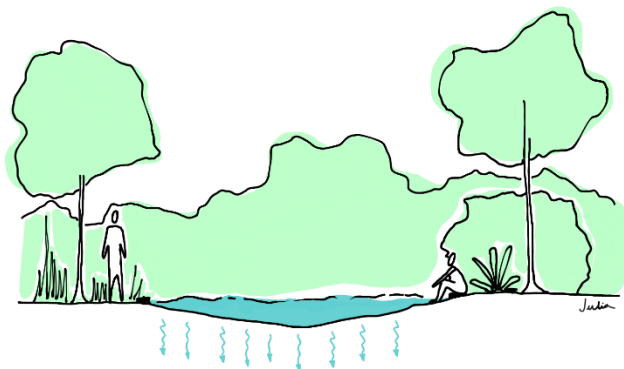


Hoja dejada intencionadamente en blanco

Lagunas Infiltración

Capítulo 15

de



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Son depresiones poco profundas en el terreno cubiertas con grama que almacenan e infiltran gradualmente la esorrentía de superficies adyacentes. Su finalidad es la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo de paso la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas. Además, también tienen capacidad para minimizar los efectos de la contaminación térmica.

Pueden tener forma irregular, con bases anchas y taludes laterales suaves cubiertos de vegetación. Al ocupar una mayor extensión que otras técnicas como zanjas o pozos, pueden recoger el agua de una cuenca mayor. Permiten el almacenamiento temporal por encima de la superficie del terreno en forma de lámina de agua alcanzado profundidades máximas aproximadas de 10 cm. Para su instalación se puede aprovechar pequeños espacios abiertos en jardines y lugares públicos, públicos o privados donde se pueda producir la infiltración.

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

Laguna de infiltración

¿Cómo funcionan?

Las aguas lluvias procedentes de las zonas adyacentes alimentan a estos sistemas que las acumulan en su superficie en una lámina de poca altura mientras se va infiltrando en el terreno. La entrada de dichas aguas se puede dar por los laterales de los taludes de la laguna o por un punto controlado.

Control de la cantidad de agua

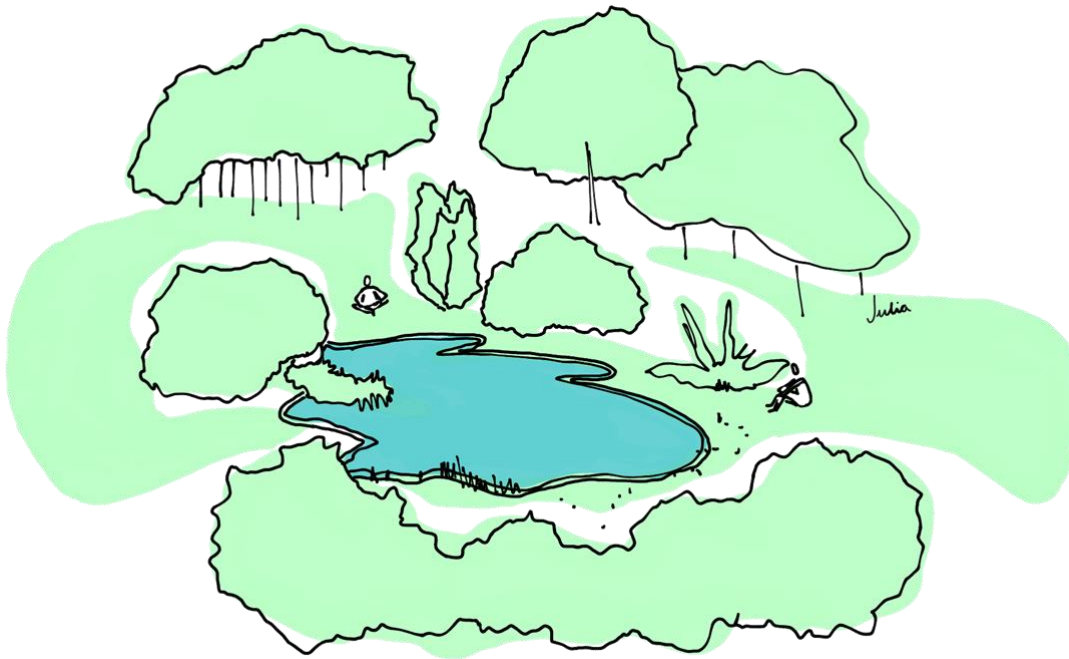
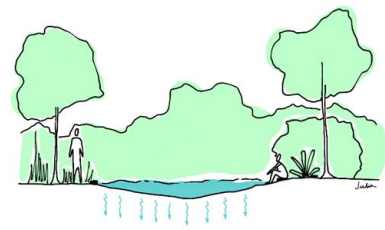
Son una buena técnica a emplear para el control tanto del volumen como del caudal pico de la escorrentía puesto que al tener tamaño considerable permiten la infiltración de una gran cantidad de agua.

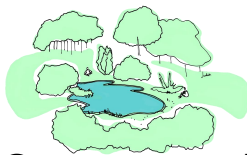
Control de la calidad del agua

Las lagunas de infiltración proporcionan un buen sistema de tratamiento del agua de escorrentía urbana, en ella se producen procesos de filtración, adsorción y transformaciones biológicas.

Valor paisajístico y medioambiental

En algunos casos, estos sistemas suponen un espacio abierto multiusos que puede ser empleado para diferentes actividades en época seca.





Componentes

Una laguna de infiltración es un sistema relativamente sencillo formado por pocos elementos:

- Alimentación o punto de entrada
- Bordes o muros laterales
- Superficie plana en depresión permeable
- Rebosadero o punto de salida de emergencia

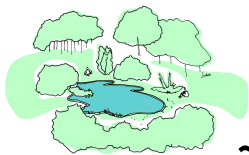


Laguna de infiltración



• Usos típicos Gestión de la escorrentía en zonas residenciales de no muy alta densidad donde las aguas no arrastren una carga contaminante importante.	
• Ventajas: Reduce notablemente el volumen de escorrentía. Puede ser muy eficaz en la eliminación de contaminantes por filtración. Contribuye a la recarga de las aguas subterráneas y el aumento del flujo base. Sencillo y rentable de construir. Las variaciones en su rendimiento son fácilmente visibles.	• Limitaciones: Nivel de fracaso potencialmente alto debido a la inadecuada ubicación, mal diseño o la falta de mantenimiento, especialmente si no se incorpora un pre-tratamiento adecuado. Se necesitan de estudios geotécnicos completos para confirmar la idoneidad para la infiltración No son apropiados para el drenaje de zonas donde se concentran altas cargas de contaminantes en las aguas de escorrentía. Requieren de un área grande y plana. - No se recomiendan en terrenos rellenados.
• Requisitos de mantenimiento: Inspecciones periódicas para detectar signos de deterioro en el rendimiento y posibles obturaciones. Eliminación de restos y residuos. Limpiar las entradas y salidas de agua. Mantener en buen estado la vegetación. Controlar el nivel de sedimentos y eliminar cuando sea preciso.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Medio Reducción de volumen: Bueno Tratamiento de calidad de agua: Bueno Potencial beneficio social/urbana: Bueno Potencial ecológico: Bueno

Tabla 15. 25. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA



02. DISEÑO

Los tipos de suelo, las condiciones geológicas superficiales y los niveles de agua subterránea determinan la idoneidad de los sistemas de infiltración en general y de este tipo de elemento en especial dados los mayores volúmenes que se gestionan.

Análisis de los condicionantes de diseño

Pendiente del terreno

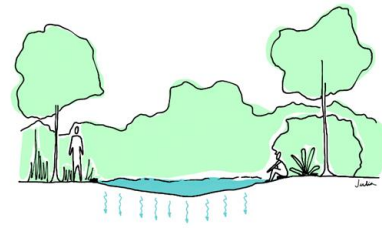
No han de instalarse en lugares con pendientes superiores al 15% y el fondo ha de mantenerse de forma horizontal. Si el terreno presenta pendiente es conveniente dividir la laguna separándola en varios niveles, de manera que el agua pueda rebasar de un nivel a otro.

El fondo de la cuenca debe ser tan plano como sea posible para que el estancamiento y la infiltración de la escorrentía se produzcan de forma uniforme a través de la superficie. Las laderas laterales de la laguna no deben ser muy pronunciadas (pendiente igual o inferior a 1H:4V) para permitir el establecimiento de vegetación, facilitar los trabajos de cuidado de las plantas asentadas, el acceso para el mantenimiento y por razones de seguridad pública.

Suelo

Las técnicas de infiltración se pueden implementar en una variedad de tipos de suelo, y se usan típicamente en suelos que van desde arenas hasta arenas arcillosas, siempre con permeabilidades medias altas. Las recomendaciones internacionales establecen valores mínimos de velocidad de infiltración de 13/15 mm/h esto es así para evitar que la técnica colapse ya que con valores más bajos la infiltración se produce un estancamiento de agua muy longevo dentro de la técnica, se requieren sistemas de mayor tamaño con un bajo rendimiento y pueden aparecer problemas de colmataciones. Por tanto, los suelos con conductividades hidráulicas inferiores a esos valores no excluyen necesariamente el uso de sistemas de infiltración, pero el tamaño del sistema requerido puede llegar a ser prohibitivamente grande, o puede requerirse un enfoque de diseño más complejo, tal como incluir un sistema de salida de drenaje lento (un dren inferior).

Laguna de infiltración



También debe considerarse el carácter estacional de las precipitaciones locales y la variabilidad del nivel de las aguas subterráneas. La distancia con el nivel freático máximo estacional debe superar los 3 metros, aun así, dependerá de que los resultados de los ensayos geotécnicos y de permeabilidad sean idóneos para la infiltración y determinen que se puede producir sin causar perjuicio a infraestructuras colindantes ni aguas abajo.

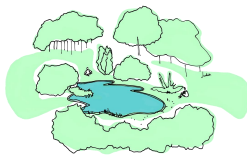
Área drenante

La infiltración no se recomienda para las aguas pluviales recolectadas en sitios industriales y comerciales que puedan ser potencialmente contaminantes, como las del parqueo (si se acumulan grasas e hidrocarburos en la superficie), pero sí aquellas que se generan en techos y áreas donde no se depositan residuos.

El área drenante ha de ser inferior a las 10 hectáreas y la ocupación en planta ha de ser entre un 2% y un 3% del área aportante, y nunca inferior a la mitad de la superficie impermeable.



Imagen 15. 6. Pequeña área de infiltración en un parque. Fuente: Elaboración propia



Dimensionamiento

Se trata de determinar la superficie y profundidad de la laguna tal y como viene especificado en el Módulo 2. Pero considerando el área aportante como la suma de las superficies impermeables que drenan hacia la laguna, más el área de la misma propiamente (ya que sobre ella también se reciben aguas lluvias).

En lo referente a la precipitación de diseño, si es una Sistema para control en origen (infiltra el agua procedente de una cubierta de un edificio, por ejemplo), se puede emplear un $Tr=5$ años y una hora de tormenta con el dimensionamiento controlado de la salida del excedente para $Tr=10$ años. Para el resto de las ubicaciones en la cadena de gestión, el Tr mínimo será de 10 años.

Conocida el área de infiltración se puede hallar la altura que alcanzará la lámina de agua como:

$$H_L = \frac{V_{almacenado}}{A_E}$$

Ecuación 15. 7. Estimación de la altura que tendrá la lámina de agua.

H_L , altura de la lámina de agua

$V_{almacenado}$, volumen de agua a almacenar en superficie para su infiltración

A_L , Área de infiltración de la laguna

Hay que tener en cuenta que las alturas de agua almacenadas temporalmente en estas lagunas han de estar en el orden de 5 a 10 cm, incluso cuando operan a plena capacidad.

Y también, el tiempo de vaciado del Sistema, que no debe superar las 24 horas:

$$T_V = \frac{V_{almacenado}}{A_E \cdot C_S \cdot K_E}$$

Ecuación 15. 8. Estimación del tiempo en que tarda en vaciarse la laguna.

$V_{almacenado}$, volumen de agua almacenada para su infiltración

A_L , Área de infiltración de la laguna

C_S = Coeficiente de seguridad (ver Módulo 2)

K_L = Permeabilidad del suelo (m/h)

Laguna de infiltración

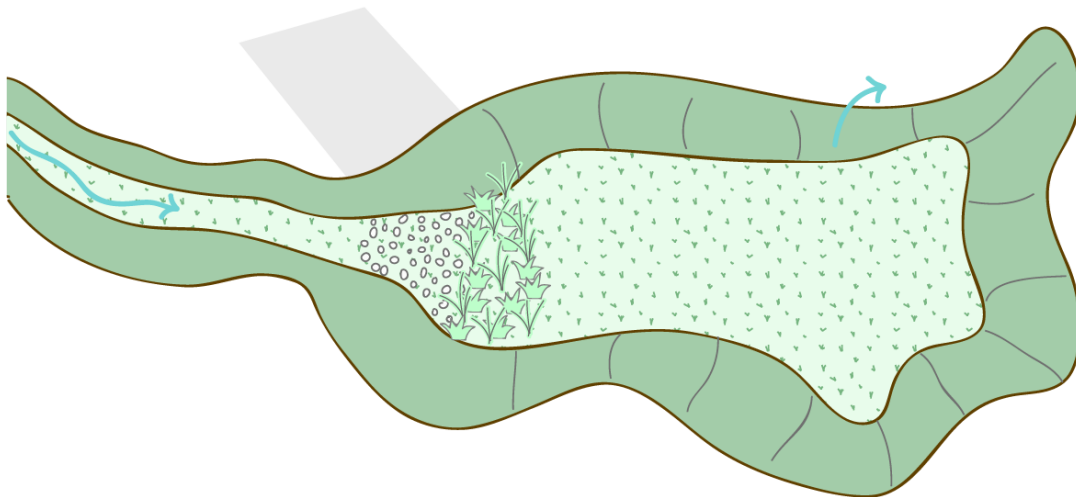
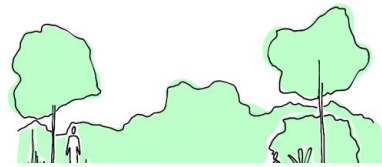


Figura 15. 15. Vista en planta de una laguna de infiltración, el agua entra por una cuneta verde, pasa por gravas y vegetación donde precipitan sólidos y se almacena sobre la superficie plana, Tiene preparado un acceso en gris para el mantenimiento. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015).

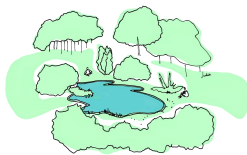
Diseño de los elementos adicionales

Entrada al Sistema

La laguna puede recibir agua de forma puntual (desfogue de un canal o de un tubo), para lo cual habrá que protegerla mediante canal de grava, evitando así entradas a altas velocidades. También puede entrar de forma difusa a través de las pendientes laterales.

Salida del Sistema

Se debe considerar un rebosadero o aliviadero, para evacuar aguas debajo de forma segura caudales mayores que los de diseño. Este punto de salida puede consistir simplemente en un rebaje en uno o dos puntos del talud que contiene la lámina de almacenamiento a una altura determinada, para evitar el estancamiento de volúmenes superior al de diseño.



03. CONSTRUCCIÓN

La longevidad de las prácticas de infiltración está fuertemente influenciada por el cuidado que se tome durante la construcción.

La construcción de una laguna de infiltración se realizará después de que la zona de emplazamiento haya sido estabilizada para minimizar el riesgo de fallo por la acumulación de sedimentos. Se debe verificar además que los taludes de la laguna cumplan con los criterios de diseño.

Toda excavación y nivelación debe realizarse por equipos que ejerzan presiones muy ligeras para evitar la compactación del suelo de la laguna, lo que reduciría su capacidad de infiltración.

Antes y después de la construcción, se deben evitar el trasiego de vehículos sobre la superficie infiltrante. El uso de equipo pesado provoca la compactación de los suelos, lo que da como resultado una capacidad de infiltración reducida.

La base del estanque debe ser cuidadosamente allanada de forma uniforme sin ondulaciones significativas. Después del allanamiento final de la superficie, ésta se debe trabajar en un espesor de 150 mm para proporcionar una textura superficial bien aireada y porosa.

El material empleado para el relleno en estructuras de entrada y salida debe ser controlado para minimizar problemas de erosión y posterior sedimentación. Las capas superficiales utilizadas en las laderas laterales deben ser suficientemente fértiles, porosas y con bastante profundidad para asegurar el crecimiento de la vegetación.



04. MANTENIMIENTO

El mantenimiento regular es fundamental para el funcionamiento exitoso de las cuencas de infiltración. Las recomendaciones de operación y mantenimiento incluyen:

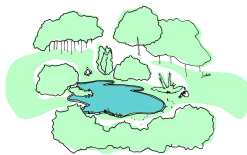
- Tras la finalización de la obra (o en caso de modificarse), vigilar que durante las primeras puestas en marcha el agua se drena en el tiempo definido en el diseño.
- Inspeccionar que el agua se infiltre completamente tras la tormenta y manejar la vegetación de forma adecuada para evitar que aparezcan encharcamientos donde puedan proliferar mosquitos.
- Programar inspecciones semestrales en el inicio y fin de la estación húmeda para evitar problemas potenciales como la erosión de las pendientes laterales de la cuenca.
- Retirar la basura acumulada y los desechos en la cuenca al comienzo y al final de la estación húmeda.
- Inspeccionar el agua estancada al final de la estación húmeda.
- Recortar la vegetación al comienzo y al final de la estación húmeda para evitar el establecimiento de vegetación leñosa y por razones estéticas y de vector.
- Quitar el sedimento acumulado cuando su volumen exceda el 10% de la laguna.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

Basura, desechos y eliminación de basura.	Mensual.
Corte de la grama en áreas ajardinadas y vías de acceso.	Mensualmente o según sea necesario.
Corte de la grama dentro y alrededor de la laguna.	Semestral
Cuidado de vegetación y eliminación de malas hierbas.	Mensualmente (según sea necesario).

Tabla 15. 26. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)



Tareas de mantenimiento ocasional

Volver a sembrar áreas de crecimiento vegetativo deficiente.	Anualmente, o según sea necesario.
Recortar las ramas de árboles adyacentes.	Cuando sea necesario.

Tabla 15. 27. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

Reparación de la erosión u otro daño con re-siembra.	Cuando sea necesario.
Realineación de la franja de grava de entrada.	Cuando sea necesario.
Reparación / rehabilitación de entradas, salidas y desbordamientos.	Cuando sea necesario.
Rehabilitar la superficie de infiltración	Cuando sea necesario.
Nivelar las superficies irregulares y restablezca los niveles de diseño.	Cuando sea necesario.

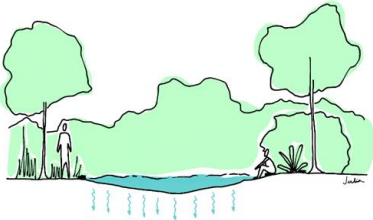
Tabla 15. 28. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

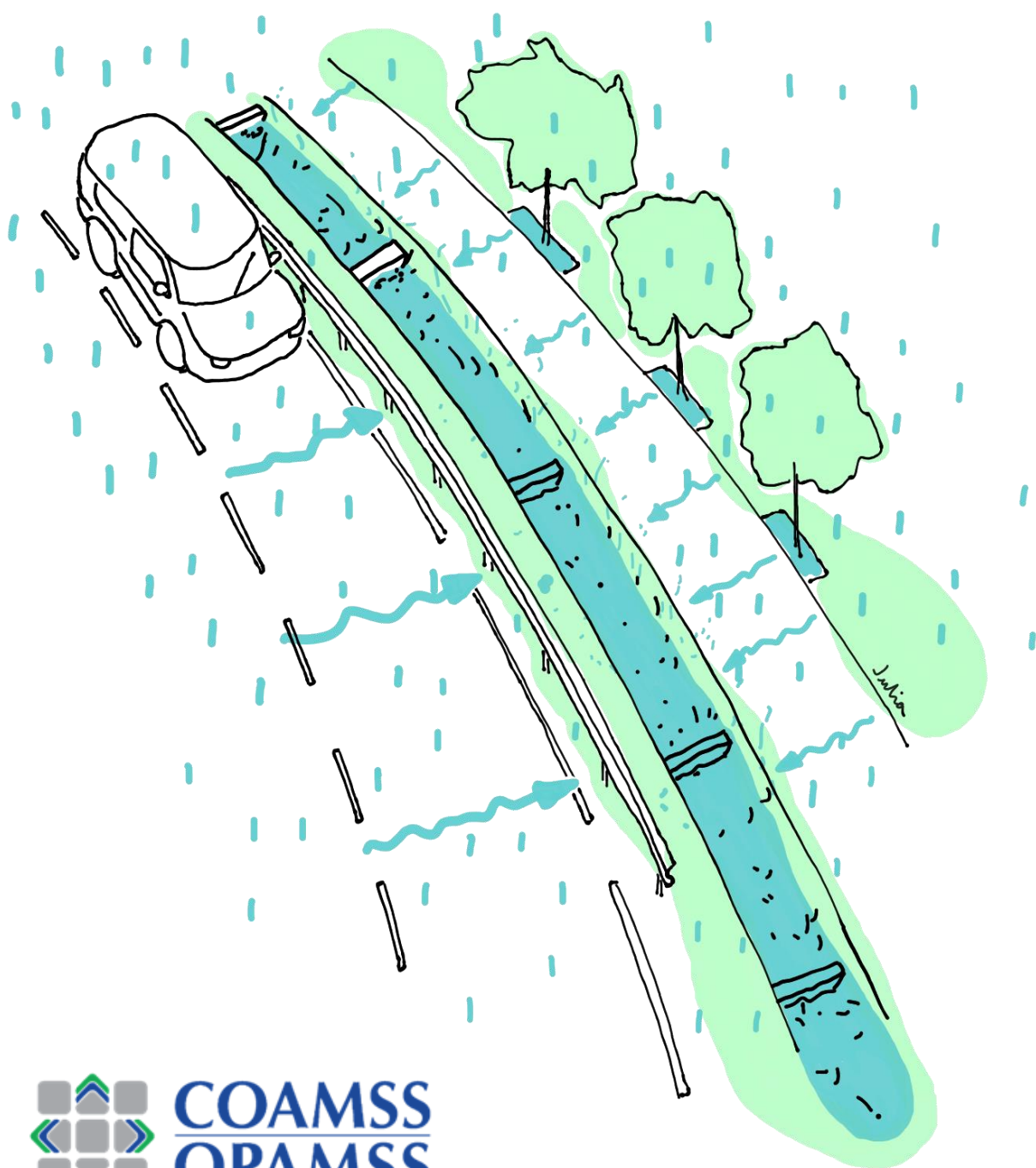
Monitorización

Inspeccionar las entradas, salidas y desbordamientos de las obstrucciones, y limpiar si es necesario.	Mensualmente
Inspeccionar orillas laterales, estructuras, tuberías, etc. para evidenciar daños físicos.	Mensualmente
Inspeccionar las entradas y los sistemas de pretratamiento para ver la acumulación de sedimentos. Establezca las frecuencias apropiadas para la remoción del limo.	Semestral
Inspeccionar las superficies de infiltración para ver su compactación y estancamiento.	Mensualmente

Tabla 15. 29. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Laguna de infiltración





Hoja dejada intencionadamente en blanco

Cunetas verdes

Capítulo 16



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Son canales lineales de transporte de caudal, cubiertos con grama, de base ancha, superior al medio metro y taludes con poca pendiente. Deben generar bajas velocidades en el agua circulante para que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y no aparezcan problemas de erosiones.

Adicionalmente pueden permitir la infiltración. Esta técnica se utiliza a lo largo de carreteras y calles residenciales y para tratar agua de escorrentía de áreas impermeables.

En comparación con las cunetas convencionales usadas en el drenaje longitudinal de carreteras, son más anchas y, además del transporte de la escorrentía, proporcionan una retención temporal del flujo que puede facilitar la filtración, infiltración (en algunos casos) y evapotranspiración del agua.

Funcionan mejor con pendientes pequeñas, tanto las transversales como las longitudinales. Para fomentar la retención, se pueden construir pequeñas represas que aseguren un tiempo de detención mayor, ayudando a laminar las puntas en el flujo. En zonas de protección de aguas subterráneas se pueden sellar en su zona inferior para evitar la infiltración.



¿Cómo funcionan?

Las cunetas verdes imitan el régimen de drenaje natural al permitir que el agua escurra a través de la vegetación, disminuyendo el caudal gracias a que facilitan el proceso de filtración. Las cunetas verdes suelen estar diseñadas para proporcionar la combinación de la conducción, la infiltración, la detención y el tratamiento de la escorrentía.

Control de la cantidad de agua

Las cunetas verdes generalmente están diseñadas como sistemas de conducción, pero también se pueden diseñar con los diques para aumentar la atenuación y, cuando proceda y la infiltración.

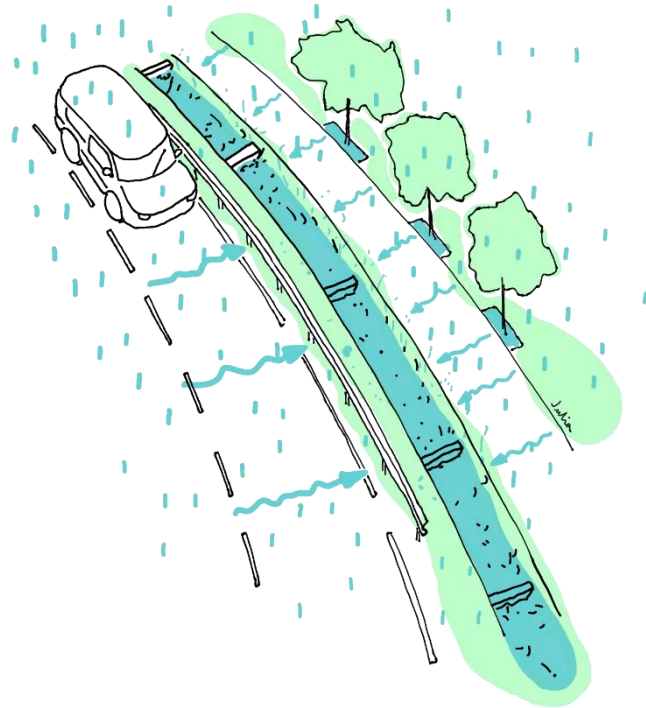
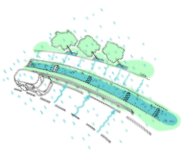
Control de la calidad del agua

Las cunetas verdes son eficaces en la eliminación de sólidos contaminantes a través de filtración y sedimentación. La vegetación atrapa las partículas orgánicas y minerales que se incorporan al suelo, mientras que los nutrientes se eliminan por la absorción biológica.

Valor paisajístico y medioambiental

Las cunetas verdes estén a menudo integradas en el paisaje, por ejemplo, en los espacios públicos abiertos o arcenes. Se pueden utilizar semillas de gramíneas y flores locales para aumentar la estética y proporcionar un hábitat para la fauna.





Tipos

En esta guía se distinguen dos tipos de cunetas. Una sencilla cuyo dimensionamiento es muy similar al de una cuneta convencional, se emplea la ecuación de Manning para comprobar que el transporte de los caudales transcurre sin desbordamiento a lo largo de todo el sistema. Y otra con un lecho de gravas filtrante que amplía la capacidad de la cuneta.

Cunetas verdes simples

Son canales amplios y poco profundos con vegetación, particularmente efectivos a la hora de dirigir y transportar la escorrentía. Pueden estar diseñadas tanto para la filtración como para la detención.

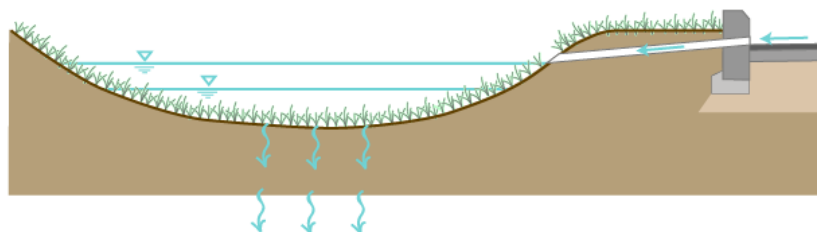
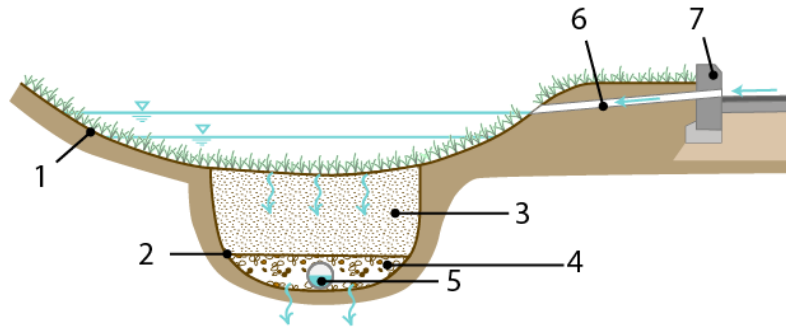


Figura 16. 16. Sección de cuneta verde simple. Fuente: Adaptación de CIRIA (2016) y Minvu.



Cunetas verdes con lecho filtrante

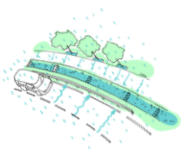
Bajo el fondo de la cuneta hay instalada una zanja de gravas que aumente su capacidad de tratamiento de contaminantes y favorece la infiltración, en caso de no poder producirse, se instala un tubo dren para sacar el agua.



1. Sección parabólica en cuneta verde
2. Geotextil separador de diferentes fases
3. Lecho filtrante
4. Capa de grava
5. Dren para evacuar el excedente
6. Canal de entrada a la cuneta verde
7. Bordillo

Figura 16. 17. Sección de cuneta verde con lecho filtrante. Fuente: Adaptación de CIRIA (2016) y Minvu.

En ambos casos, según la capacidad de permeabilidad del suelo donde se instalen puede producirse la infiltración. Si se trata de un suelo de tierra blanca joven o el proyecto puede impactar negativamente sobre un acuífero, se deberá instalar una lámina impermeable bajo la cuneta que impida la infiltración pero que soporte un sustrato vegetal.



• Usos típicos Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales/industriales. Se pueden establecer sustituyendo a las convencionales en carreteras.	
• Ventajas: Fáciles de incorporar en el paisaje. Buena eliminación de contaminantes urbanos. Reducen el coeficiente de escorrentía y los volúmenes de agua generados. Tienen bajo costo. Su mantenimiento puede ser incorporado en la gestión general del paisaje urbano. Fácil de detectar fallos o acumulaciones de sedimentos indeseadas.	• Limitaciones: No son aptas en zonas con mucha pendiente. La opción de poner árboles para tratarlas como zonas ajardinadas está muy limitada o no es conveniente. Existe riesgo de bloqueo en la conexión con el colector de salida.
• Requisitos de mantenimiento: Eliminación de residuos y cualquier elemento que obstruya la circulación del agua. Cortar periódicamente la hierba y eliminar los restos. Limpiar las entradas a las alcantarillas de desechos y sedimentos. Reparar las áreas erosionadas o dañadas.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Medio Reducción de volumen: Medio Tratamiento de calidad de agua: Bueno Potencial beneficio social/urbana: Medio/Bueno Potencial ecológico: Medio

Tabla 16. 30. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA (2015)



02. DISEÑO

Las cunetas verdes son canales lineales de transporte de caudal, cubiertos con grama, de base ancha, superior al medio metro y taludes con poca pendiente. Deben generar bajas velocidades en el agua circulante para que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y no aparezcan problemas de erosiones.

Análisis de los condicionantes de diseño

Antes de proceder a la incorporación de una cuneta verde en un proyecto, hay que conocer los requerimientos mínimos para que su funcionamiento pueda cumplir con los objetivos de diseño.

Área drenante

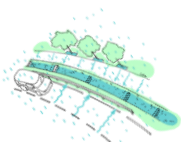
La extensión máxima a drenar por una cuneta verde está en torno a las dos hectáreas, áreas mayores pueden aportar una cantidad de sedimentos que puede alterar el desempeño de ésta.

Pendiente del terreno

No se recomienda que se instalen con pendientes superiores al 5% para que cumplan con éxito las funciones de retención, y eliminación de contaminantes por sedimentación. Lo ideal es que la pendiente se mantenga entre el 0, 1 y el 2% para que cumpla con las funciones de retardo y tratamiento de la escorrentía. En el AMSS las pendientes son más elevadas, en esos casos el proyectista ha de diseñar la cuneta con una pendiente inferior al 5% para lo que pueda dividirla en tramos conectados con saltos.

Suelo

Si las pendientes no son altas y el suelo es idóneo para la infiltración, lo que se habrá comprobado previamente mediante ensayos en el terreno, se puede proceder a infiltrar, en cuyo caso pueden ponerse pequeñas represas que almacenen el agua temporalmente facilitando su percolación por el terreno. Estas represas se recomiendan también cuando la pendiente donde vaya la cuneta verde sea superior al 3%.



Geometría de la cuneta

Las cunetas verdes pueden tener secciones triangulares, trapezoidales o parabólicas (las rectangulares no se aconsejan por la dificultad en su mantenimiento y estabilidad). Los canales trapezoidales son los más frecuentes y los parabólicos los que mejor funcionan frente a la erosión. Se recomienda minimizar las pendientes laterales, sin que tengan una inclinación mayor de 3H:1V.

La anchura de la cuneta no debe ser superior a los 2,5 metros, salvo que se utilicen medidas estructurales para asegurar la propagación uniforme del flujo. El ancho recomendado está entre los 0,6 y los 2,4 metros.

Hidrológicos

Este tipo de elementos pueden ser parte de una urbanización o del drenaje longitudinal de un vial o carretera. En ese último caso, habrá que tener en cuenta lo dispuesto por la entidad competente ambiental, el MARN, que para este último caso especifica en la “Guía de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos”, que el periodo de retorno a emplear para el dimensionamiento es de 20 años.

Si en la zona de proyecto hay zonas naturales que por su localización y pendiente puedan ejercer de cauce natural, pueden aprovecharse para su empleo como cuneta verde, manteniendo así los caminos naturales del agua. Cumpliendo con el *Reglamento de OPAMSS* en su artículo V.13.

Los coeficientes de escorrentía empleados variarán en función de la vegetación presente en la cuneta. En el caso de que sea grama, estudios experimentales para pendientes del 5% muestran los valores representados en el siguiente gráfico:

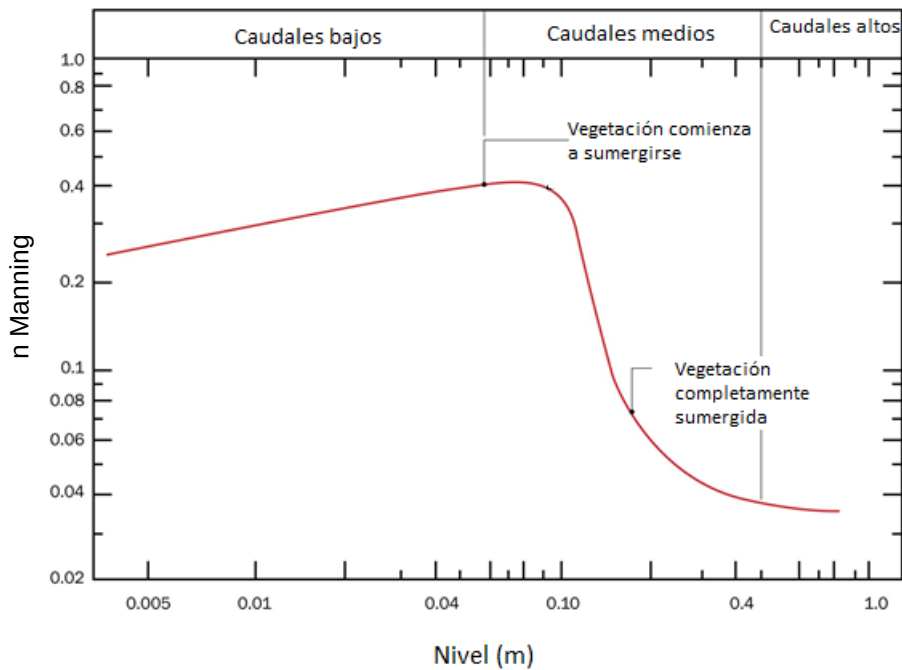


Gráfico 16. 1. Valores de “n” de Manning para cunetas verdes. Fuente: CIRIA C753. Adaptación Wong

Dimensionamiento

Debido a la tendencia a disminuir la capacidad de transporte, estos canales deben diseñarse un poco sobredimensionados, por motivos de seguridad se recomienda diseñar con un resguardo mínimo del 20%.

Con el empleo de la ecuación de Manning, se puede calcular la velocidad del flujo en el canal.

$$V = \left(\frac{A}{P} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{I^{0.5}}{n}$$

Ecuación 16. 9. Ecuación de Manning para la estimación de la velocidad de flujo.

V = Velocidad media del flujo, en m/s

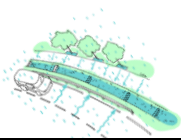
A = Área de la sección del flujo en m²

P = Perímetro mojado, en m

I = Pendiente longitudinal de la calle, en m/m

n = Coeficiente de rugosidad de la superficie

Para que la cuneta verde funcione correctamente, se recomienda que el flujo siempre se mantenga en régimen subcrítico y los valores de la velocidad para el período de retorno de diseño no supere los valores de la tabla.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Superficie de la cuneta verde	Velocidad máxima, m/s	
	Suelos cohesivos	Suelos no cohesivos
Sin vegetación	1,2	0,7
Con gramas de jardín, mezclas nativas de plantas	2,1	1,5
Con gramas naturales	1,3	0,9

Tabla 16. 31. Velocidades máximas recomendadas. Fuente: MinVU

En el caso de que la cuneta lleve asociada bajo la superficie una zanja de gravas como almacenamiento, hay que añadir el volumen útil extra que supone.

Ese volumen extra es igual a

$$V_A = L_C \cdot A_C \cdot H_Z \cdot P$$

Ecuación 16. 10. Estimación del volumen adicional aportado por el lecho filtrante.

V_A , volumen útil de almacenamiento

L_C , Longitud de la cuneta

A_C , Ancho de la cuneta

H_Z , altura de la zanja

P , porosidad del material de relleno, valores típicos 0.3/0.4

En caso de que se pueda producir la infiltración, la zanja irá envuelta en un geotextil. Conocidas L_C y A_C se deberá determinar H_Z (conocida la capacidad de infiltración del suelo, ver Módulo 2) para que la zanja haya desaguado en 24 horas.

De no producirse la infiltración, el perímetro de la zanja en contacto con el suelo irá recubierto de una geomembrana impermeabilizante e, inmerso en las gravas, se dispondrá de un tubo dren que será el medio por el que salga el caudal almacenado y que por tanto determinará, la altura que ha de tener la zanja. El caudal circulante por el tubo dren se puede calcular como:

$$Q_S = C(h - H_d)^n$$

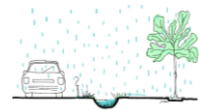
Ecuación 16. 11. Estimación del volumen adicional aportado por el lecho filtrante.

Q_S , flujo de salida (mm / hr),

h , altura total del de agua almacenada (mm),

H_d es la altura del desagüe, o diámetro del tubo dren de salida

El coeficiente C y exponente n determinan la tasa de flujo a través del desagüe en función de la altura del agua almacenada por encima de la cota del desagüe. Para los drenes, que captan el agua a través de ranuras, se considera que éstas



actúan como orificios dando al exponente un valor de 0.5 y al coeficiente de drenaje 60000 veces la relación del área total ranuras respecto a la del SUDS.

Diseño de los elementos adicionales

Entrada de flujo

Las entradas de caudal en la parte superior de las cunetas verdes deben estar provistas con disipadores de energía, como por ejemplo una franja de grava. Si la entrada se produce desde un colector subterráneo, previamente se puede hacer pasar la escorrentía por una cámara de decantación para eliminar los gruesos.

Salida de la escorrentía

Es recomendable que las salidas o puntos de desfogue también lleven una protección de gravas.

Aliviadero de emergencia

En caso de que las cunetas transporten escorrentía a nivel de control regional, es recomendable que se incluyan salidas de emergencia para los caudales superiores a los de diseño. Éstas pueden ser tipo vertedero de pared gruesa para que cuando se exceda el caudal de diseño, el agua circule por otra vía de manera que no ponga en riesgo la seguridad y salud de las personas y no comprometa la integridad de la misma cuneta.

Acceso para mantenimiento

En el diseño de estos elementos hay que tener en cuenta que necesitarán de revisiones y reemplazo de vegetación, por lo que el proyectista ha de contemplar los posibles pasos para que los operarios puedan realizar su trabajo correctamente y de forma segura.

Represas

Los diques o represas están recomendados para aquellas cunetas vegetadas que tengan pendientes longitudinales superiores al tres por ciento (evitando así altas velocidades del agua y erosiones) o cuando se desea una detención adicional del flujo para facilitar la infiltración.

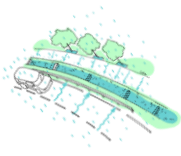


Imagen 16. 7. Represa en cuneta verde. Fuente: Elaboración propia

Su altura ha de ser de entre 15 y 45 cm, no ha de exceder de la mitad de la profundidad de la cuneta y deben ir regularmente espaciados. Esta separación dependerá de la pendiente de la cuneta, y de su altura para proporcionar el volumen de calidad requerido.

Para prevenir su arrastre, las represas han de estar correctamente ancladas. El lado aguas abajo de represas de control necesita ser protegido de la erosión con escollera.

Otras consideraciones de diseño

Se pueden emplear tubos para mantener la conectividad de las cunetas verdes en aquellos puntos donde se prevea una interferencia con una estructura. La tubería conectora debe tener capacidad suficiente para permitir el paso de caudal de diseño de la cuneta.

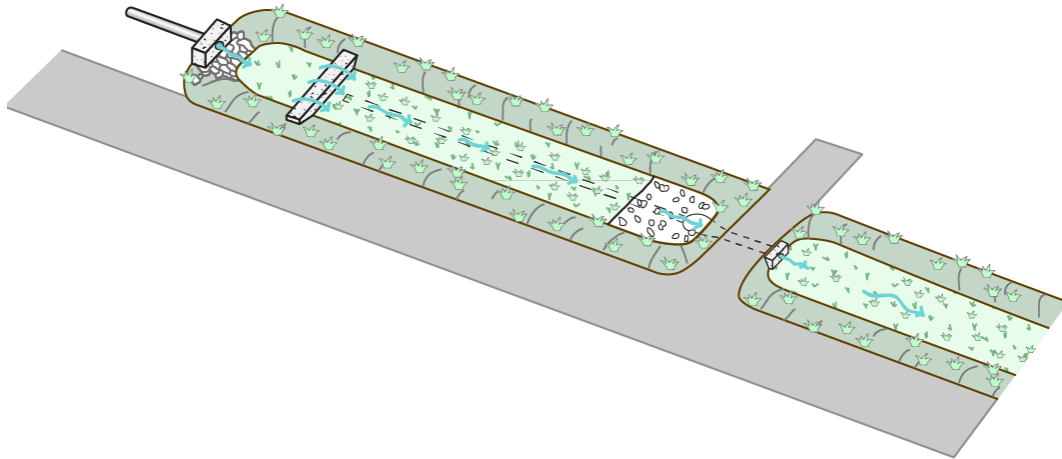
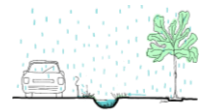
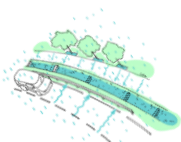


Figura 16. 18. Esquema en planta de la continuidad de una cuneta verde, el agua entra por un colector, por lo que la estrada se protege con escollera, la salida hacia otro colector también se protege para evitar erosiones, un colector deja pasar el agua de una cuneta verde a otra, pero ha de tener capacidad suficiente para el caudal de diseño de la cuneta. Fuente: Adaptación Charlotte-Mecklenburg Storm BMP Design Standards Manual

Se ha de considerar la estética del lugar donde se van a emplazar las cunetas verdes e intentar acoplarla lo mejor posible al paisaje.

A la hora de escoger la vegetación, se deben elegir plantas que puedan soportar una velocidad relativamente alta de flujo a la entrada, y que puedan subsistir tanto en periodos húmedos como en secos, como las gramíneas expuestas en el Módulo 2. Caracterización de la zona de estudio.



03. CONSTRUCCIÓN

El inicio de la construcción de cualquier cuneta verde o vegetada no debe realizarse hasta que la pendiente del lugar de emplazamiento haya sido estabilizada y se hayan tomado las medidas necesarias para controlar la erosión y deposición de sedimentos temporalmente. Para ello debe impedirse la entrada de la escorrentía de las zonas adyacentes hasta que la cuneta no esté completamente ejecutada y la vegetación esté completamente arraigada. Esto se puede realizar:

- Desviando el flujo de agua hasta que la vegetación esté bien enraizada.
- Colocando una lámina de control de la erosión sobre la semilla recién plantada
- Iniciar su construcción con suficiente antelación a la época de lluvias para que la grama haya podido establecerse.

Se debe evitar la excesiva compactación del suelo, para ello los equipos de excavación han de operar desde uno de los laterales de la cuneta y nunca hacerlo desde su interior.

Si uno de los objetivos es la infiltración, hay que cuidar el proceso de excavación, evitando compactar el suelo (de ser así, se deberá sustituir el terreno compactado y reemplazado con una mezcla de suelo y arena para promover la infiltración y el crecimiento biológico). Esto tiene como fin penetrar en la zona de compactado y promover la aireación y la formación de macroporos.

Después de un primer allanamiento del terreno realizado, se debe afinarse ya que es muy importante el correcto estado de la superficie sin salientes ni otros elementos que puedan comprometer la capacidad de circulación del agua o provocar erosiones.

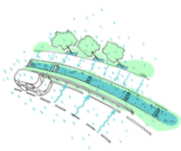
La vegetación a implantar debe consistir de una densa y variada selección de plantas tolerantes al agua almacenada y de rápido crecimiento. Para el AMSS se recomienda el empleo de grama y de emplear alguna ornamental, se recomienda que sea de entre las listadas en el Módulo 2: Caracterización de la zona.

Cunetas Verdes



Antes de proceder a la siembra de la vegetación seleccionada hay que preparar el terreno:

- Acomodando los tres centímetros superficiales del suelo para proporcionar una ventilación suficiente que permita el crecimiento rápido de las raíces.
- Añadiendo el fertilizante adecuado para potenciar el crecimiento de la vegetación (se recomienda que sea natural).
- Si se va a colocar césped enrollado, éste se hace de forma perpendicular a la pendiente para controlar la erosión. Y ha de asegurarse de que se coloca correctamente permitiendo un buen enraizamiento del césped.
- Es recomendable instalar una lámina o estera de control de la erosión hasta que la vegetación esté bien asentada.



04. MANTENIMIENTO

El mantenimiento y las inspecciones regulares son importantes para que las cunetas verdes funcionen correctamente a lo largo de toda su vida útil. Por ello es importante que en la fase de diseño se establezcan los accesos necesarios para poder llegar a todas las áreas de la cuneta de manera que sea fácil hacer las revisiones. Y en esa fase inicial también se deben identificar las necesidades específicas de mantenimiento e inspecciones, y establecer el programa o planificación con la que se realizarán estas acciones.

Puntos básicos en el mantenimiento de las cunetas verdes

1. La inspección de las cunetas verdes es necesaria hacerla varias veces durante los primeros meses para garantizar que se establece adecuadamente la cobertura vegetal.
2. El riego será necesario durante el periodo de establecimiento de la planta y puede ser imprescindible en periodos de poca lluvia o de sequía. Hay que facilitar el rápido establecimiento de la vegetación para evitar la erosión.
3. El control de la erosión en las cunetas verdes donde se ha procedido a la plantación mediante semillas debe ser bastante minucioso. Si las velocidades de la escorrentía se prevén elevadas, habrá que considerar colocar un desvío para el caudal hasta que la vegetación esté completamente consolidada.
4. Una vez establecida la cuneta verde, se debe inspeccionar anualmente para corregir los daños que se hayan podido producir en la vegetación, las erosiones y las deposiciones de sedimentos. Si se ha perdido vegetación se tiene que volver a plantar la superficie deteriorada.
5. Hay que cortar la grama regularmente, manteniendo una altura de 10 a 15 centímetros. Para evitar la creación de surcos en la tierra o la compactación del suelo (lo que puede reducir la infiltración y provocar un mal drenaje no se debe realizar cuando el terreno esté blando, que es cuando está húmedo).



6. La cámara de pretratamiento inicial (en caso de llevarla) debe ser inspeccionada anualmente antes del periodo de lluvias por si ha sido obstruida por la acumulación de sedimentos.

7. Cuando se identifique signos de alteración en el flujo de agua, hay que revisar las represas por si hay que realizar alguna deficiencia que corregir.

8. La acumulación de sedimentos ha de ser retirada cuando exceda aproximadamente el 25% del volumen de la calidad del agua o la capacidad del canal. Si los sedimentos proceden de áreas residenciales, generalmente no son tóxicos y se pueden retirar a cualquier vertedero. Pero si proceden de áreas industrializadas entonces habrá que consultar la retirada a la administración pertinente.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

Eliminación de basura y sedimentos	Mensualmente (o antes si es necesario)
Cortar la grama para mantener su altura	Mensualmente (o en época de crecimiento y cuando se requiera)
Gestión de la y retirada de malas hierbas	Mensualmente (o cuando sea necesario)

Tabla 16. 32. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

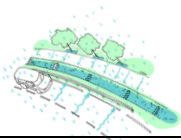
Tareas de mantenimiento ocasional

Comprobación del crecimiento de la vegetación por si es inadecuada debido a la falta de luz solar o si hay hojarasca que retirar	Anualmente
Revegetar aquellas zonas en las que haya desaparecido la vegetación	Anualmente, o cuando el suelo desnudo sea igual o superior al 10% del área de la cuneta

Tabla 16. 33. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

Reparación de erosión u otros daños	Cuando sea requerido
Volver a nivelar superficies irregulares y restablecer niveles de diseño.	Cuando sea requerido
Eliminar las incrustaciones de sedimentos de la franja de grava que hace de pretratamiento.	Cuando sea requerido



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Retirar y desechar los aceites o residuos de gasolina.	Cuando sea requerido
--	----------------------

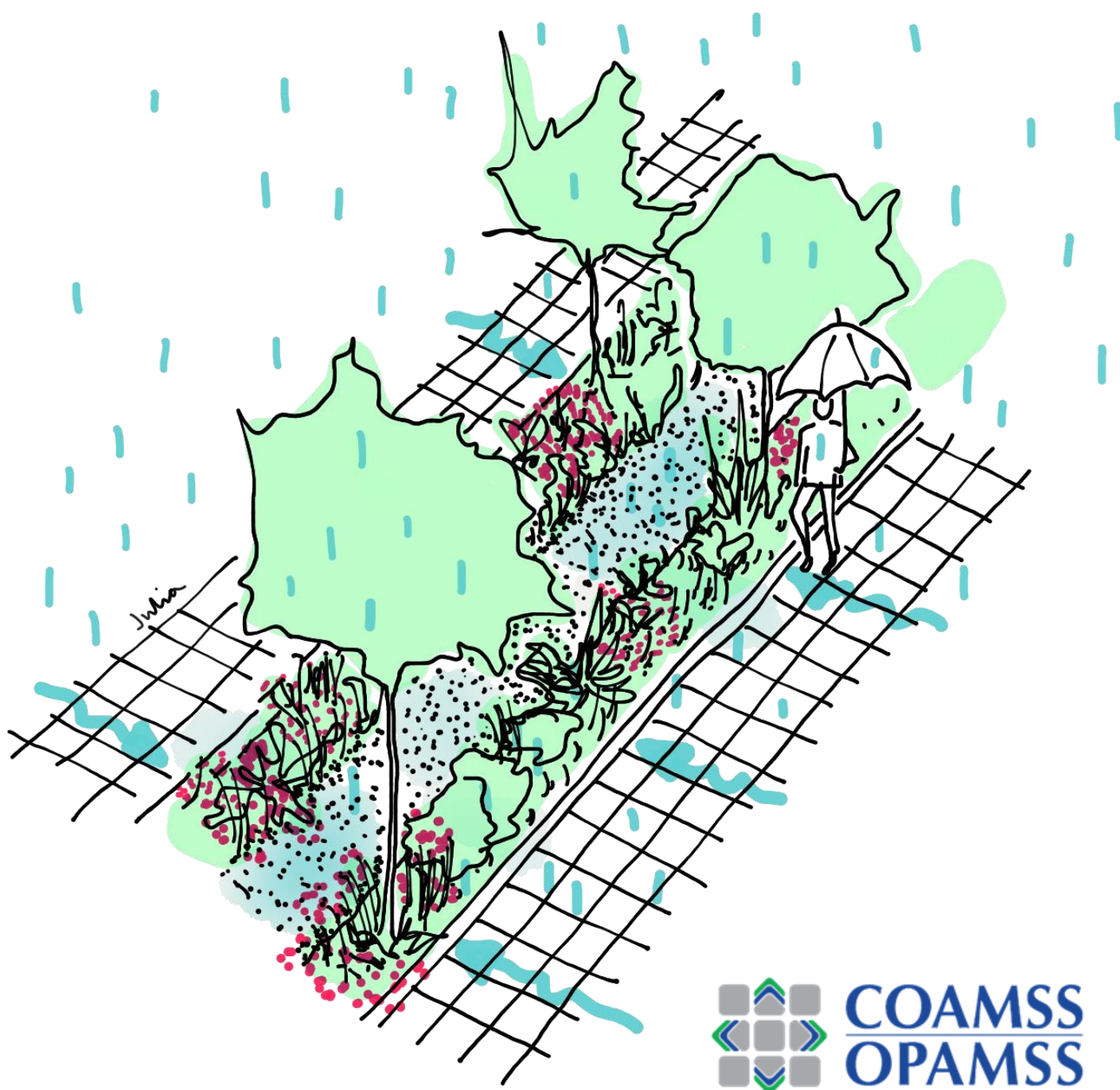
Tabla 16. 34. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Monitorización

Inspeccionar las entradas, salidas y desbordamientos de bloqueos y aclarar si es necesario.	Mensualmente
Inspeccionar las superficies de infiltración por acumulación, compactación, acumulación de lodo.	Mensualmente o cuando sea necesario
Inspeccionar la acumulación de sedimentos en las entradas. Establecer las frecuencias adecuadas de eliminación de limos.	Semestralmente

Tabla 16. 35. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Hoja dejada intencionadamente en blanco



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Áreas biorretención

Capítulo 17

de



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Son sistemas diseñados principalmente para el control de la calidad del agua antes de su vertido al medio ya que su capacidad para el control de caudales es más limitada. El alto rendimiento que tienen en la eliminación de contaminantes se debe a la variedad de mecanismos presentes (procesos físicos, químicos y biológicos).

Una variedad incluida dentro de este tipo de sistemas es el “*jardín de lluvia*” que permite la infiltración del agua procedente de pequeñas superficies, como el tejado de una casa.

Estas áreas pueden tener una gran variedad en forma y tamaño por lo que han de plantearse desde un punto de vista paisajístico para poder acomodarlas a la zona de estudio ensalzando el valor estético de la zona.

Dentro de una metrópolis tan densa como el AMSS donde la disponibilidad de espacio está muy limitada, estos sistemas pueden instalarse aprovechando el lugar que ocupan los arriates en las calles, también se pueden plantear dentro de espacios verdes y plazas como parte del ornamento vegetal. A nivel particular pueden ejecutarse de forma simple en los patios de las viviendas y promover la infiltración, o, en el caso de que no se pueda realizar, también se pueden emplear grandes maceteros preparados para la biorretención.



¿Cómo funcionan?

Un área de biorretención captura la escorrentía superficial y permite que el agua se infiltre a través de las diferentes capas que la componen. A medida que el agua se infiltra, los contaminantes se eliminan a través de una variedad de mecanismos que incluyen la adsorción, la actividad microbiana, la absorción por parte de las plantas, la sedimentación y la filtración.

Control de la cantidad de agua

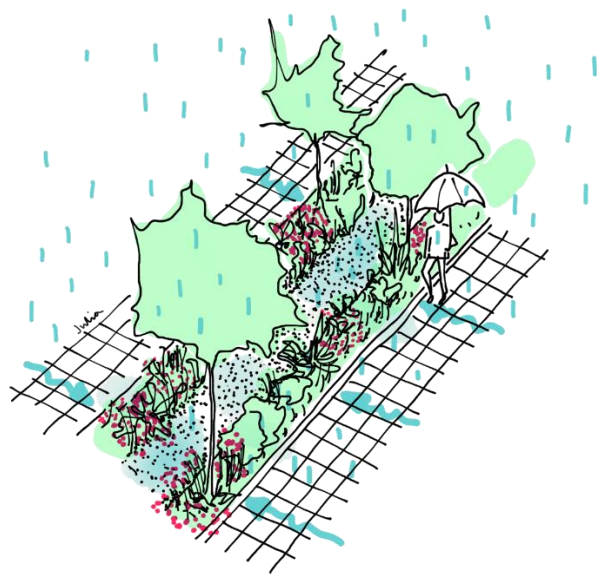
Estos sistemas pueden reducir el caudal punta y el volumen de escorrentía mediante la detención de agua y mediante el almacenamiento en las capas de suelo y grava, lo que además permite la infiltración en el subsuelo.

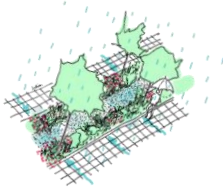
Control de la calidad del agua

Los sistemas de biorretención son de los más efectivos en el tratamiento de la calidad de las aguas de escorrentía urbana, ya que en ellos tienen lugar una amplia gama de mecanismos que ayudan a la descontaminación.

Valor paisajístico y medioambiental

Este tipo de sistemas suelen ofrecer un aumento del valor paisajístico donde se integran dado que proveen de vegetación. Pueden instalarse en zonas residenciales, en parqueos e incluso en aceras de áreas comerciales, proporcionando un pequeño espacio verde en zonas altamente urbanizadas.





Componentes

Los principales componentes de un sistema de biorretención son:

- El pretratamiento (opcional)
- La zona de entrada de escorrentía
- Zona de almacenamiento superficial (área de acumulación)
- Mezcla de suelo para la biorretención
- Vegetación
- Almacenamiento adicional en capa de grava con desagüe inferior (opcional)
- Punto de salida del agua por desbordamiento

Áreas de biorretención

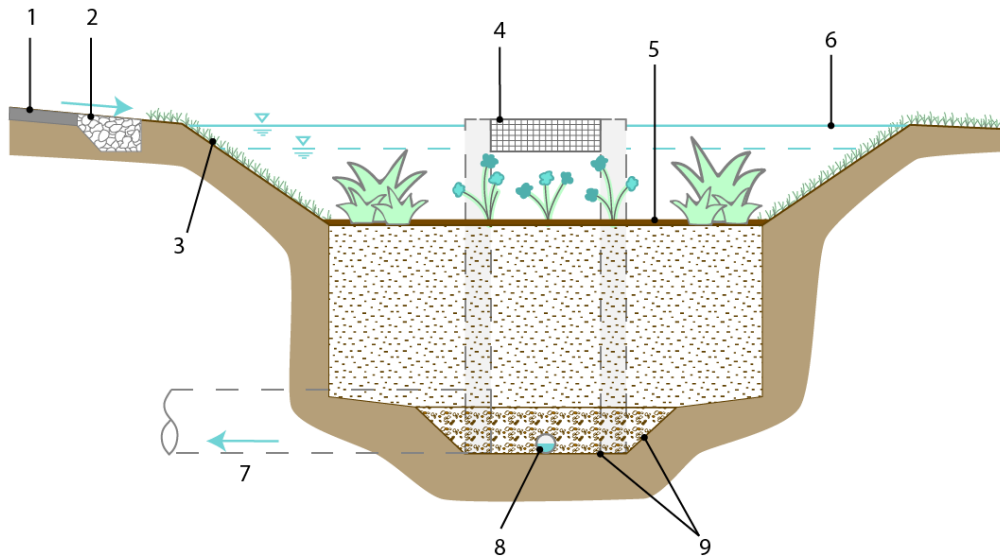


Figura 17. 19. Sección típica de un área de biorretención 1. Entrada de esorrentía. 2. Franja de grava para reducir la velocidad de entrada. Talud de la superficie de acumulación de agua. 4. Rebosadero de emergencia. 5. Superficie de acumulación de agua. 6. Nivel máximo de volumen de agua acumulada. 7 salida de caudal del rebosadero de emergencia. Fuente: Adaptación de Charlotte-Mecklenburg BMP Design Standards Manual.

Pretratamiento

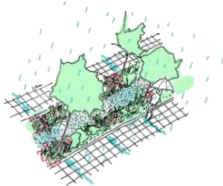
Su presencia se requiere para proteger el sistema agua-suelo-vegetación de las áreas de biorretención. Sirve para proteger y prolongar la vida útil del sistema mediante la reducción en la entrada de sedimentos y de contaminantes.

Entrada de la esorrentía

El tipo de entrada de la esorrentía al sistema de biorretención puede variar según el uso del suelo donde esté situado, no es lo mismo que esté en una zona residencial o en un parqueo. En general se recomienda que se produzca a través de una franja de hierba o una franja de grava para reducir las velocidades de la esorrentía entrante y prevenir erosiones, aunque en ocasiones no es posible por limitaciones de espacio.

Área de acumulación o encharcamiento

Aquí se almacena temporalmente y en superficie el agua de esorrentía. Y de ahí se evaporará, infiltrará, o será absorbida/evapotranspirada por la vegetación. Además, en esta zona también se promueve la deposición de partículas. El nivel del encharcamiento está supeditado con la mezcla de suelo de biorretención que hay debajo y a condiciones estéticas, de funcionalidad y de seguridad. Los calados generalmente están en un rango de 10 a 45 cm para reducir la carga



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

hidráulica de los suelos subyacentes, minimizar el tiempo de instalación drenaje y evitar el estancamiento del agua por un tiempo prolongado. Los tiempos de almacenamiento han de ser los adecuados para mejorar la calidad del agua permitiendo la sedimentación de partículas.

Mezcla de suelo para la biorretención

La mezcla de suelo proporciona un medio adecuado para el crecimiento vegetal, abasteciendo de agua y nutrientes a las plantas, mejorando la actividad biológica y facilitando el desarrollo radicular. Este medio actúa como un filtro físico entre el almacenamiento superficial y el sistema edafológico subyacente o el sistema drenante inferior. Proporciona un almacenamiento adicional de las aguas pluviales en sus poros. Y las partículas que lo componen proporcionan una superficie para la adsorción de contaminantes y metales pesados antes de que el agua se infiltre en el suelo o salga por el sistema de desagüe. La profundidad depende del tamaño de la vegetación a emplear y de la envergadura del proyecto. Valores típicos oscilan entre los 30 cm y el metro (siempre que no se planten árboles)

La mezcla de suelo de biorretención debe ser una mezcla uniforme, libre de piedras, troncos, raíces u otros objetos similares de más de 5 cm. No hay que incluir en esta mezcla de suelo ningún elemento que pueda ser perjudicial para el crecimiento de las plantas, o ser un obstáculo para las operaciones de plantación o de mantenimiento. El suelo debe estar libre de malezas nocivas y la tierra, la arcilla, el mantillo y la arena deben ser combinadas uniformemente. En el Bloque 2: Proyecto SUDS, se pueden ver las especificaciones que debe tener esta mezcla de suelo.

Vegetación

La vegetación favorece la remoción de contaminantes y la estabilización del suelo. Cumple con diversas funciones:

- Absorbe contaminantes
- Intercepta la precipitación y permite que el agua se evapore
- Disipa la energía de la caída de las gotas de lluvia evitando erosiones en el suelo

Áreas de biorretención



- Facilita la infiltración del agua superficial ya que su sistema radicular crea vías por las que penetrar el agua
- Facilita la recarga de aguas subterráneas
- Mejora paisajística
- Proporciona un hábitat para animales, hongos y bacterias
- Algunas de las especies recomendadas para el AMSS son: crotones, scheffleras, durantas, ixora híbridas, papiros, tule, helechos o aráceas.

El proyectista determinará qué especies a plantar teniendo en consideración los requisitos que han de tener para una larga vida y un mínimo mantenimiento.

Almacenamiento (opcional)

En las áreas pequeñas de biorretención donde se da la infiltración, los conocidos jardines de lluvia, no es necesario poner gravas que aumenten la capacidad de almacenamiento del agua porque gestionan pequeños caudales de escorrentía generados en partes de una cubierta de una vivienda unifamiliar.

Pero en zonas como el AMSS es recomendable, dadas las altas intensidades, que se disponga de este almacenamiento. Se trata de un relleno de gravas con un volumen de huecos en torno al 40% o de celdas plásticas prefabricadas cuyo espacio de vacíos es algo superior al 90%. De esta manera se puede aumentar la cantidad de agua para la infiltración o para la retención y laminación.

Esta capa debe ir envuelta en un geotextil para impedir que las partículas del suelo sean arrastradas hasta sus poros y se colmaten. Las características del geotextil se muestran en el Bloque 2.

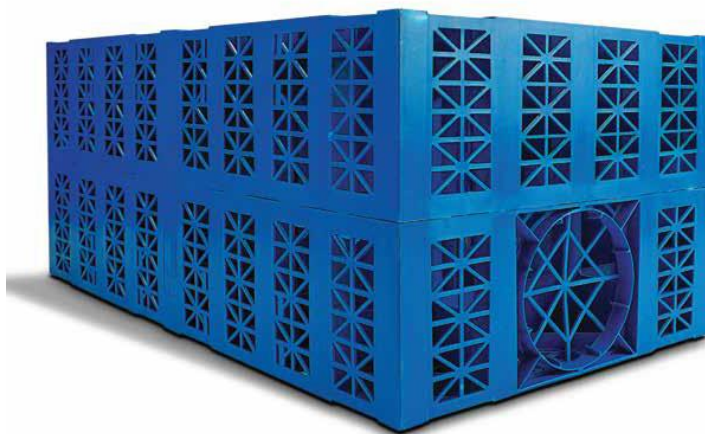
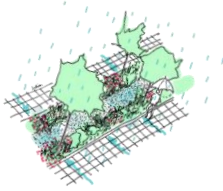


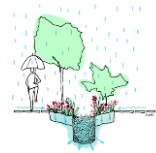
Imagen 17. 8. Celda plástica. Fuente: Amanco



Lecho de grava con dren (opcional)

La función del lecho de arena o de grava es proporcionar buen drenaje y unas condiciones aeróbicas que permita el crecimiento vegetal. El dren, o tubo perforado, inmerso en el lecho de grava recoge el agua de la parte inferior del sistema, procedente de un posible exceso de infiltración, y lo transporta a la salida del sistema. El drenaje subterráneo para la salida del agua no siempre es necesario. Dependerá de si el encharcamiento en superficie se puede producir durante más de 24 horas, o que directamente no se pueda producir, en cuyo caso sí que habrá que instalarlo. Los drenes han de tener un diámetro de entre 15 y 30 centímetros, consistirán en tubos perforados situados en una zanja de grava limpia envuelta en tela geotextil o en el lecho de almacenamiento/infiltración. Deben tener una capacidad de desagüe mayor que la tasa total de infiltración del suelo. Pueden salir a la superficie directamente o estar conectados a un sistema de recogida y transporte de aguas pluviales.

Áreas de biorretención

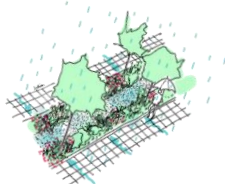


Punto de salida por desbordamiento

Cuando la escorrentía excede la capacidad de almacenamiento del sistema de biorretención, el exceso de volumen de agua sale del sistema a través de un punto de desbordamiento. Este excedente de agua va, o bien a otro sistema para mejorar la calidad del agua, o bien a la red de alcantarillado. Una forma de darle salida es instalando un tubo vertical con una reja u orificios en la parte superior a partir de la cota máxima que puede alcanzar el agua en la zona de almacenamiento. Estos elementos se dimensionan según lo definido en el Bloque 2. Fase 3.



Imagen 17. 9. Salida por cámara de desbordamiento. Fuente: Elaboración propia



• Usos típicos Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales. Esta técnica trata la escorrentía de extensiones de como mucho 2 hectáreas, si se quiere tratar una superficie mayor, es recomendable usar varias áreas de biorretención y dividir dicha superficie Son superficies ajardinadas en depresión que además pueden tener otros usos como islas en estacionamientos, medianas de carretera o de funcionalidad estética en calles.	
• Ventajas: Reducen la escorrentía, es recomendable en zonas muy impermeables, como las áreas de aparcamiento. Elimina sedimentos finos, metales pesados, bacterias, nutrientes y materia orgánica. Su diseño es flexible, hay varias opciones según diferentes condiciones que pueden darse. Son estéticamente atractivas	• Limitaciones: No son apropiadas en zonas con pendientes superiores al 15%. Las altas cargas de sedimentos pueden causar problemas, se recomienda algún tipo de pretratamiento. Flujos concentrados pueden necesitar una consideración especial en el diseño.
• Requisitos de mantenimiento: Mantenimiento de rutina de zonas ajardinadas, eliminación de malas hierbas y retirada de restos de poda y de plantas muertas. Control de los sedimentos en la zona de césped.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Medio Reducción de volumen: Medio (alto con infiltración) Tratamiento de calidad de agua: Bueno Potencial beneficio social/urbana: Bueno - Potencial ecológico: Medio

Tabla 17. 36. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA (2015)



02. DISEÑO

El diseño de un sistema de biorretención es flexible y puede variar en complejidad en función de las condiciones del lugar donde se va a implantar, su topografía, los requerimientos de volumen de escorrentía a tratar, las características del suelo, si la ubicación es residencial o no, ...etc. Por ejemplo, los procesos de proyección e implantación serán muy diferentes según se trate de un pequeño “rain garden” situado en el patio de una casa o de un sistema de biorretención que tenga que gestionar la escorrentía de una zona interurbana.

Pero, en cualquier caso, a la hora de realizar el diseño se deben contemplar todos aquellos aspectos que pueden influir en el funcionamiento de los sistemas de biorretención para procurar que tengan el rendimiento más alto posible, que las necesidades de mantenimiento sean mínimas y la vida útil de la técnica sea lo más longeva posible.

Deben ser capaces de drenar toda el agua almacenada en unas 24 horas, por si se repite el evento pluviométrico, que tengan capacidad de tratar esa nueva escorrentía generada.

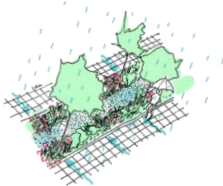
El diseño debe velar por que el área de biorretención sea fácilmente accesible para las labores de mantenimiento.

El proyectista habrá de tener muy en cuenta, aparte de las condiciones técnicas, las estéticas, sobre todo si el sistema de biorretención se va a insertar en un jardín o dentro de un espacio recreativo público.

Análisis de los condicionantes de diseño

Ubicación

Tradicionalmente las áreas de biorretención demandan del 5 al 10% de la superficie del área drenante. Aunque ocupen una porción tan significativa, con un buen diseño pueden ser incorporadas adecuándose perfectamente en el paisaje, por ejemplo, en zonas altamente urbanizadas se podrá ubicar estos sistemas donde los arriates y espacios verdes dada su similitud visual, evitando gastar otros espacios públicos.



Pendiente del terreno

Las áreas de biorretención pueden usarse en la mayoría de las condiciones del suelo, aunque tienden a ser difíciles de incorporar dentro de cuencas con pendientes pronunciadas, superiores al 10%, pueden construirse escalonando el suelo para repartir bien el peso del sistema mojado y evitar problemas estructurales. Donde no deben usarse para infiltrar las aguas de escorrentía es en aquellos lugares donde la infiltración puede causar problemas de estabilidad en las pendientes como, por ejemplo, en zonas de deslizamientos o en la parte superior de un terraplén. También se deben evaluar cuidadosamente los efectos de almacenamiento de agua sobre la capacidad estructural de los suelos subyacentes antes de su emplazamiento sobre ellos.

Suelo

Si se va a producir la infiltración, la distancia al nivel freático debe estar a más de 3 m por debajo de la base de la instalación. No deben situarse en terrenos inestables, por lo que previamente al diseño de estos SUDS, se han de realizar los ensayos geotécnicos que determinen la idoneidad de esta técnica.

Dimensionamiento

El dimensionamiento de estos sistemas se puede realizar aplicando lo expuesto en el Módulo 2.

El volumen necesario de almacenamiento es el correspondiente al generado en el área de aportación para la tormenta de diseño, 10 años y una hora de duración, pero si se trata de un sistema de infiltración de control en origen puede emplearse una tormenta de 5 años y una hora de duración con una salida funcional para el periodo de retorno de 10 años.

Conocido el volumen necesario a tratar, la disponibilidad de superficie para su instalación y las porosidades de los diferentes lechos porosos (desde el 40% de gravas a más del 90% de las celdas plásticas prefabricadas), el proyectista establecerá la profundidad que ha de tener el sistema.

Y, conocida ésta, deberá comprobar que, para esa superficie, altura, y capacidad hidráulica del material poroso seleccionado, el sistema de biorretención es capaz

Áreas de biorretención



de vaciarse en 24 horas para dar cabida a la siguiente tormenta. Se puede realizar con una primera estimación a partir de la ecuación:

$$A_s = \frac{V_E \cdot L}{k (h + L)t}$$

Ecuación 17. 12. Estimación del área mínima que ha de tener el sistema de biorretención.

A_s = Área superficial del material filtrante (m^2).

V_E = Volumen de escorrentía que entra al sistema (m^3)

L = Altura de la matriz porosa (m)

h = Altura de la lámina de agua encima de la matriz (m)

k = Coeficiente de permeabilidad de la matriz porosa (m/s)

t = Tiempo de percolación del agua a través de la matriz porosa (segundos).

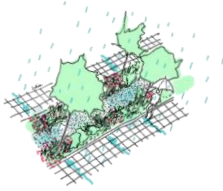
La ecuación supone que todo el volumen de almacenamiento está en el mismo medio poroso, pero en realidad, parte se acumula sobre la superficie del sistema, parte en la depresión generada a tal fin, parte en la mezcla de suelo y parte en la capa de gravas o celdas plásticas prefabricadas. La depresión superficial donde se acumula la lámina de agua puede ir de 10 a 45 cm, dependiendo de varios factores, como la disponibilidad de espacio, la capacidad de las plantas para estar sumergidas, las profundidades potenciales de trabajo o la extensión total del sistema de biorretención, ...

Para refinar el dimensionamiento, sobre todo en aquellos sitios donde hay mucha limitación espacial, se puede ajustar los volúmenes de almacenamiento en las tres capas y comprobar el tiempo de evacuación:

- Almacenamiento superficial (lámina de agua en la depresión)
- Almacenamiento en mezcla de suelo (que será un 30% o el porcentaje de vacíos del volumen total del suelo)
- Almacenamiento en gravas o celdas plásticas prefabricadas (que será entre un 40%-90% del volumen total de esta capa)

El volumen total almacenado será la suma de los tres.

La profundidad de la mezcla de suelo debe estar entre los 10 y 120 cm en función del tamaño de las raíces a emplear. Si se van a utilizar arbustos leñosos (sólo con infiltración, puesto que las raíces pueden romper la geomembrana), la



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

profundidad media del suelo deberá incrementarse, en función de las necesidades de enraizamiento.

La profundidad del lecho de almacenamiento debe ser de 10 cm mínima. Teniendo en cuenta que esta capa proporciona un mayor volumen de almacenamiento que la mezcla de suelo, por limitaciones de espacio, puede alcanzar alturas mayores que la capa superior.

En caso de que en el suelo no se pueda producir la infiltración, el empleo del dren es obligatorio para dar salida al volumen almacenado y se calculará según lo especificado en el Bloque 2 para que pueda evacuar todo el caudal almacenado en unas 24 horas para dar cabida a la siguiente tormenta.



Imagen 17. 10. Ejemplo de zona de biorretención de forma irregular. Fuente: Elaboración propia



Diseño de los elementos adicionales

Entrada del agua y pretratamiento

Debe ser diseñada para evitar la erosión dentro del área de biorretención. Algunos ejemplos de entradas que evitan este problema son: secciones con ensanchamientos con gramas o gravas que propician la entrada del flujo en forma laminar.

Aparte de las gravas la grama, como pretratamiento pueden emplearse pavimentos permeables e, incluso, cámaras de decantación. En este caso el agua ha de entrar mediante colector cerrado en vez de directamente desde la superficie, por lo que se debe proteger el perímetro para que no entre escorrentía de zonas adyacentes.



Imagen 17. 11. Ejemplo de entrada con colector. Fuente: Elaboración propia

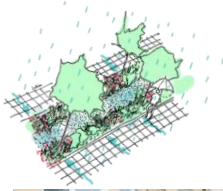


Imagen 17. 12. Ejemplo de entrada desde bajante, la salida del agua desde el tubo se realiza sobre unas losetas que sirven para evitar la aparición de socavones en el suelo puesto que desde ahí el agua cae de forma laminar. Fuente: Elaboración propia

Puede ser de varios tipos, aunque lo más común es instalar un tubo vertical con ranuras a partir de cierta altura, que se corresponde con la de máxima almacenaje de agua. Puesto que estos sistemas tienen mucha versatilidad en su forma y diseño, las salidas de emergencia pueden ser de diversas clases (vertederos, canales,...).

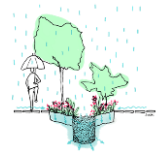
Mezcla de suelo para la biorretención

Tiene que ser capaz de soportar una cubierta vegetal en buen estado, para ello se les debe añadir material orgánico compostado hasta que alcance una proporción de entre un 5 y un 10%. Puede agregarse materia orgánica adicionalmente para aumentar la capacidad de retención de agua. Las características del suelo a emplear se pueden ver en el Bloque 2. Modelo Conceptual.

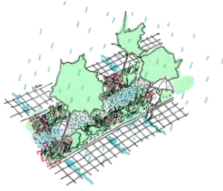
Vegetación

Es esencial para que las zonas de biorretención sean eficaces. Tradicionalmente, la vegetación autóctona de llanuras aluviales o de prados

Áreas de biorretención



húmedos es la que mejor se adapta a las condiciones ambientales presentes en las áreas de biorretención, pero no siempre se pueden disponer, en el AMSS por ejemplo no se puede extraer vegetación de la naturaleza para plantar en propiedades particulares ya que está protegida. Por ello lo idóneo es recurrir al listado del Bloque 2 o recurrir a expertos botánicos que puedan asesorar en la selección de la vegetación.



03. CONSTRUCCIÓN

Si se va a construir cualquier tipo de área de biorretención en una nueva zona urbana, deber realizarse al final. Cuando se desarrolla una nueva urbanización siempre se generan escombros y sedimentos que pueden perjudicar a la vegetación presente y es por ello que la construcción de estos sistemas debe ser dejada para el final. Además, dada la importancia que tienen las plantas que forman parte de estas áreas, hasta que no estén perfectamente arraigadas y compongan un tapiz vegetal frondoso no han de recibir agua de escorrentía, para evitar problemas de erosiones. Así que al poco de ser construidas, estas áreas deben ser protegidas de la escorrentía de las zonas colindantes hasta que las plantas estén completamente establecidas.

Para minimizar el riesgo de fracaso prematuro del sistema, durante la construcción, hay que tener especial cuidado:

No se deben compactar ni la mezcla de suelo de biorretención, ni los lechos de grava o arena ni tampoco el suelo que hay subyacente. Uno de los procesos que se da en estos sistemas es la infiltración, que puede verse muy limitada con la compactación del suelo y los otros componentes.

Para realizar la excavación pueden emplearse retroexcavadoras pero teniendo cuidado no pase por encima del área de biorretención establecida para evitar las compactaciones.

Si aparecen (por el motivo que sea) erosiones tras las excavaciones, éstas han de ser rellenadas.

Antes de la instalación de las membranas geotextiles hay que revisarlas para que no tengan desgarros ni roturas.

Secuencia típica construcción

A continuación, se lista una secuencia típica básica en la construcción de un sistema de biorretención:

Fase previa o de preparación

Áreas de biorretención



Las superficies donde se van a implantar estos sistemas deben estar claramente marcadas antes de comenzar cualquier trabajo para evitar la alteración y compactación del suelo en la construcción. La construcción de la zona de biorretención es mejor realizarla en época seca y en caso de que coincida con la temporada de lluvias, deben ser dirigidas hacia otra parte, para evitar problemas de sedimentaciones y erosiones durante el proceso constructivo.

Excavación

Hay que excavar el área biorretención a la profundidad fijada en proyecto y escarificar la superficie del suelo existente. Como ya se mencionó, es muy importante minimizar la compactación tanto de la base de la zona de biorretención como la del relleno posterior. Cuando sea viable, se usará maquinaria ligera para retirar la tierra original. Todos los equipos se mantendrán fuera de la zona excavada en la máxima medida posible.

Las paredes y el fondo deben quedar, tras la excavación, libres de protuberancias o elementos que puedan dañar o impedir la correcta colocación de la membrana geotextil.

Geolámina (en caso de que no se deba permitir la infiltración)

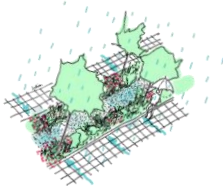
Cuando el medio no permita la infiltración, estos sistemas se pueden emplear como elementos de retención y laminación del volumen almacenado en su lecho poroso. En esos casos, lo primero que hay que hacer tras la excavación es cubrir toda la superficie de contacto del subsuelo con una lámina impermeabilizante con características como las mostradas en el Bloque 2 y comprobar que todas las juntas están bien selladas y que no se producen fugas.

Relleno

Seguidamente a la excavación (o a la colocación de la geolámina) hay que rellenar el espacio vacío para evitar que se llene de sedimentos u otros materiales no deseados.

Geotextil

El primer elemento del “relleno” es la membrana de geotextil, tanto por el fondo, como por los laterales.



Dren inferior

Los sistemas de desagüe inferior deben colocarse con una pendiente mínima de 0,5% en la parte honda de la excavación. Se debe lograr una conexión estanca al agua por donde sale el dren del sistema a través de la membrana geotextil.

Lecho de grava

El lecho de grava será la primera de las capas a colocar, dejando espacios libres que permitan la circulación del agua. Inmerso en este lecho irá el dren de desagüe.

Mezcla de suelo biorretención

La mezcla de suelo de biorretención ha de ser colocada por capas de unos 30 cm máximo y de forma cuidadosa evitando compactaciones. En esta fase no se permite la entrada al sistema de equipamiento pesado. Cada vez que se coloque una capa de suelo, ha de ser saturada con agua hasta que drene por la parte inferior, esto facilitará el asentamiento del suelo. Si se contamina parte de la mezcla de suelo durante la construcción, esa fracción debe ser eliminada y reemplazada con material nuevo libre de contaminación. Si es necesario se realizará el allanamiento de la zona de forma manual. El relleno del suelo se ha de realizar siguiendo lo planificado en planos, dejando espacio para la capa de mantillo que irá sobre él.

Plantaciones

Tras rellenar de suelo y comprobar que se ha realizado correctamente y tiene la altura necesaria, se procede seguidamente al plantado de las especies vegetales.

Durante la plantación hay que guardar especial cuidado en que no se depositen sedimentos u otros materiales sobre la superficie, de ser así, hay que retirarlos inmediatamente.

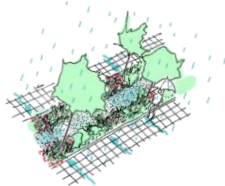
Las especies seleccionadas han de ser completamente viables. Su cultivo se ha de realizar en las temporadas en las que se dé su mejor arraigo, eso se puede consultar con el vivero que proporcione las especies. Se recomienda disponer de la opinión de un especialista que determine cuáles son las mejores plantas para cada caso y cómo y cuándo se han de plantar, para que el desarrollo y

Áreas de biorretención



crecimiento se produzca de forma óptima. Hasta que la vegetación no esté completamente asentada no se podrá poner en funcionamiento el sistema de biorretención.

Es importante también regar frecuentemente durante la temporada seca del primer año para un establecimiento vegetal exitoso.



04. MANTENIMIENTO

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Las áreas de biorretención requieren un mantenimiento marcado en muchos casos por la estacionalidad, puesto que uno de los elementos más importantes es la vegetación, que varía en función de la época del año.

Cuando son más importantes las tareas de mantenimiento es, sobre todo, el primer año. Al inicio del establecimiento de las plantas hay que cuidar su correcto arraigo para su posterior desarrollo. Por ello hay que regar de forma periódica y eliminar cualquier maleza no deseable en el sistema.

Transcurrida esa primera etapa no hará falta un mantenimiento muy exhaustivo, lo principal será regar en la época seca.

También es aconsejable realizar una evaluación del área tras un episodio de fuertes lluvias, controlando que los rebosaderos (o salidas de emergencia) no se hayan obstruido con hojas, hierba u otros materiales, y si es así, limpiarlos.

Y es recomendable, inspeccionar el sistema un par de veces al año, en la época de crecimiento vegetal.

Durante las inspecciones hay que evaluar la acumulación de sedimentos, la erosión y el estado de salud de la vegetación. Si la acumulación de sedimento llega al 25 % de la profundidad de encharcamiento, debe retirarse. Si se observa la erosión dentro del área de biorretención, deben aplicarse medidas adicionales de estabilización del suelo adicional. Y si la vegetación parece estar mal de salud sin una causa obvia, se debe consultar un especialista.

Tareas de mantenimiento regular

Acción requerida	Frecuencia
Eliminación de sedimentos y basura	Mensualmente o mayor frecuencia por razones estéticas
Inspección del suelo y reparación de áreas erosionadas	Mensualmente
Retirar restos de hojas secas	3 años

Tabla 17. 37. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

Áreas de biorretención



Tareas de mantenimiento ocasional

Eliminación de malezas o hierbas que hayan podido crecer	Cuando se requiera según inspecciones
Siega de la vegetación de las zonas adyacentes	Cuando se requiera según inspecciones

Tabla 17. 38. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

Eliminación de vegetación dañada o cubierta de limos o tierra.	Cuando se requiera
Tratamiento de arbustos enfermos	Cuando se requiera
Tratamiento y recuperación de áreas erosionadas.	Cuando se requiera
Reemplazar grama donde sea necesario	Cuando se requiera
Reinstalación de los niveles de diseño, restauración del área o mejora de la infiltración y eliminación de limos	Cuando se requiera
Reparación y sustitución (en caso de ser necesario) de las zonas dañadas, que presenten grietas o depresiones de la superficie	Cuando sea requerido

Tabla 17. 39. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Monitorización

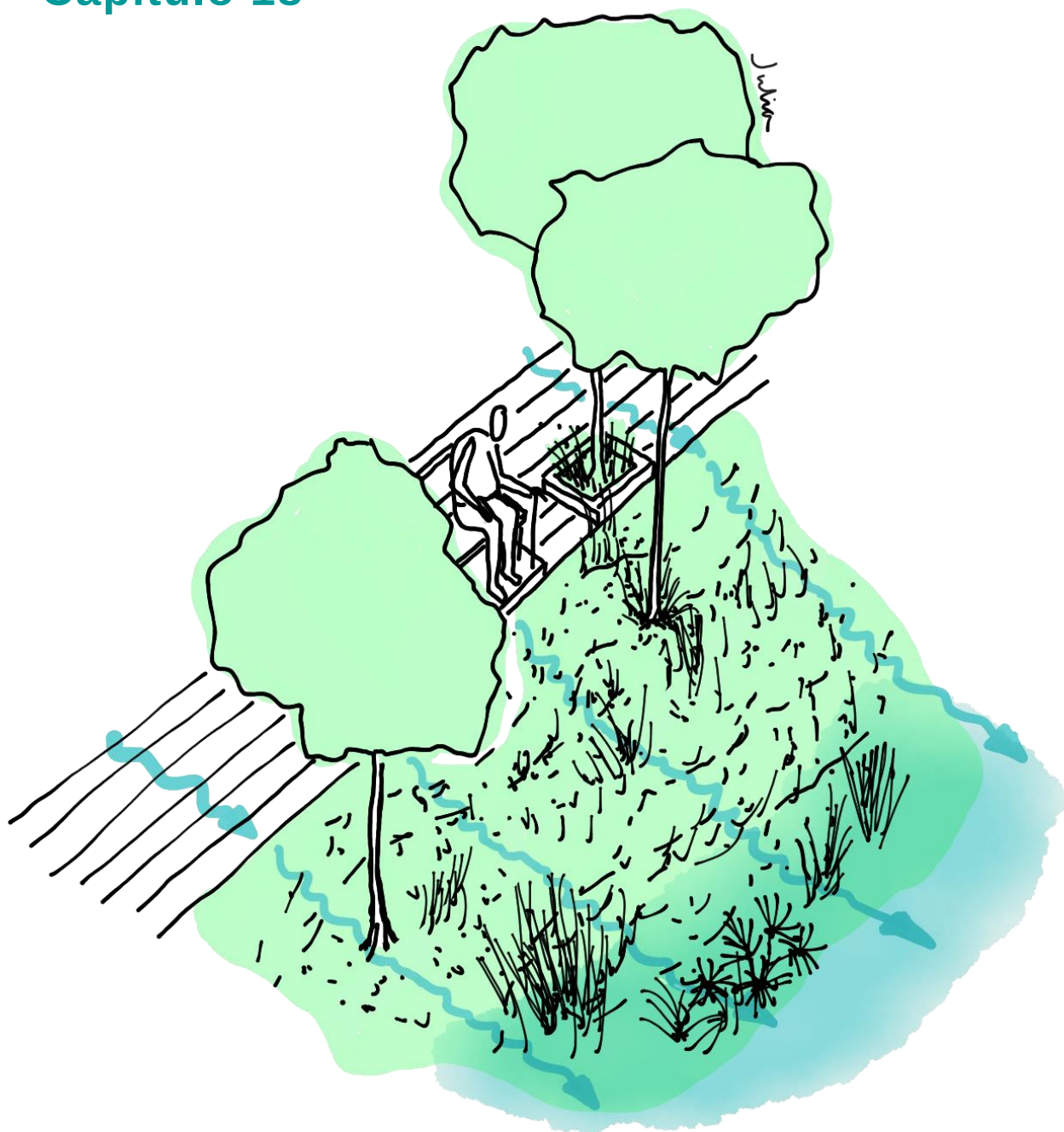
Inspección de los bloqueos en entradas, salidas y puntos de desbordamiento	Cuando se requiera
Inspección de encharcamientos en superficies de infiltración. Medición de los tiempos de desagüe de la instalación para determinar si es necesario sacar el agua por otra vía.	Mensualmente/después de grandes tormentas
Inspección de la acumulación de sedimentos en las entradas y las superficies de la instalación para establecer las frecuencias adecuadas de extracción de limos.	Semestralmente
Comprobación del pH del suelo y si es necesario, corregirlo.	Anualmente

Tabla 17. 40. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Hoja dejada intencionadamente en blanco

FRANJAS FILTRANTES

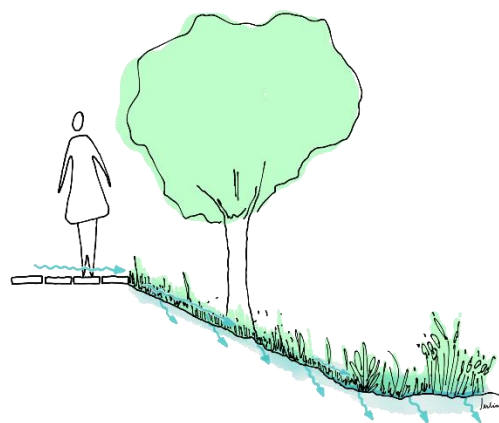
Capítulo 18



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Franjas Filtrantes

Capítulo 18



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

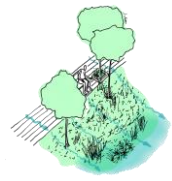
04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Las franjas filtrantes son áreas uniformes, anchas, con una pendiente suave y cubiertas con una densa grama. Su función más relevante es tratar la calidad de la escorrentía de las áreas adyacentes aguas arriba, reducen eficazmente los niveles de partículas contaminantes. Los mecanismos de eliminación de contaminantes incluyen la sedimentación, la filtración, la absorción, la infiltración, la absorción en las raíces de las plantas, y la actividad microbiana. La velocidad a la que se hace circular el agua por las franjas filtrantes ha de ser suficientemente baja para que los sedimentos, junto con los contaminantes asociados, se queden retenidos en ellas. A mayor anchura de franja y densidad de vegetación se obtiene mayor capacidad filtrante y grado de depuración de la escorrentía. Para optimizar la sedimentación, se recomienda que la velocidad del flujo no supere los 0,3 m/s.

Dependiendo de las propiedades del suelo, el tipo de cobertura vegetal, la pendiente y longitud de franja, también se puede reducir un poco el volumen de escorrentía mediante la infiltración. Aunque ésta no es una de las funcionalidades de estas técnicas.

Sirven como técnica de pre-tratamiento para eliminar el exceso de sólidos y contaminantes arrastrados por las aguas de escorrentía antes de pasar a otros SUDS como cunetas verdes o zanjas de infiltración, pero no de superficies permeables puesto que si se llega a arrastrar suelo o restos vegetales se pueden colmatar sus poros.



¿Cómo funcionan?

Imitan el régimen del drenaje natural, permiten que el agua escurra a través de la vegetación a baja velocidad facilitando la filtración de las partículas suspendidas.

Control de la cantidad de agua

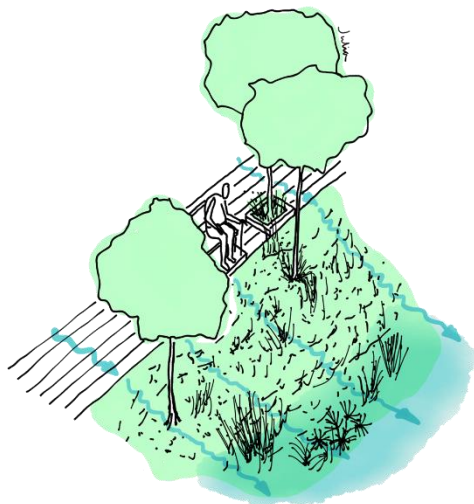
Las franjas filtrantes funcionan como sistemas de conducción principalmente, por lo que no reducen la cantidad de aguas lluvias, pero sí reducen los picos de caudal de escorrentía al hacerla pasar por una superficie vegetada. En caso de que se produzca infiltración, sí que se consigue reducir el volumen de aguas lluvias.

Control de la calidad del agua

Estas técnicas son eficaces en la eliminación de los sólidos contaminantes a través de medidas como la filtración y la sedimentación. Los minerales se incorporan al suelo mientras que los nutrientes se eliminan por la absorción biológica.

Valor paisajístico y medioambiental

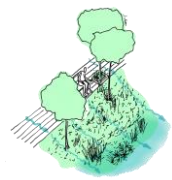
Las franjas filtrantes están a menudo integradas en el paisaje: en espacios públicos abiertos o en los laterales de viales. Se pueden utilizar semillas de gramas locales para aumentar su valor estético además de proporcionar un hábitat para la fauna.





• Usos típicos Su uso original es el de drenaje agrícola, sirven como amortiguamiento de la escorrentía que se vierte a los arroyos, quebradas y ríos en zonas rurales Se emplea principalmente para tratar la calidad de las aguas de escorrentía procedente de la superficie adyacente y, sobre todo, como pretratamiento previo a otro SUDS. Se usan en áreas comerciales y residenciales, integradas en la planificación del drenaje como un elemento de desconexión de las áreas impermeables. Se recomienda su uso en zonas en las que se quiera proteger el medio natural de la contaminación que arrastran las aguas lluvias.	
• Ventajas: Fáciles de incorporar en el paisaje. Buena eliminación de contaminantes urbanos. Reducen el coeficiente de escorrentía y los volúmenes de agua generados. Tienen bajo costo. Su mantenimiento puede ser incorporado en la gestión general del paisaje urbano. Fácil de detectar fallos o acumulaciones de sedimentos indeseadas.	• Limitaciones: No son aptas en zonas con mucha pendiente. La opción de poner árboles para tratarlas como zonas ajardinadas está muy limitada o no es conveniente. Existe riesgo de bloqueo en la conexión con el colector de salida.
• Requisitos de mantenimiento: Sirven para tratar la escorrentía de grandes superficies impermeables adyacentes. Facilitan la evaporación del agua. Son de fácil construcción y bajo coste. Como tratamiento previo del agua antes de pasar a otra técnica de drenaje urbano sostenible, son muy efectivas. Se integran fácilmente en el paisaje y pueden tener un gran valor estético.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Escaso Reducción de volumen: Escaso Tratamiento de calidad de agua: Medio Potencial beneficio social/urbana: Medio Potencial ecológico: Medio

Tabla 18. 1. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA



02. DISEÑO

Las franjas filtrantes están diseñadas para hacer pasar el agua de escorrentía superficial como una lámina continua, desde un extremo del plano hacia el extremo más bajo. Hay que evitar cualquier concentración de flujo, para ello la entrada desde la zona impermeable debe propiciar la distribución lineal homogénea. Siempre que se produzca un flujo concentrado, éste debe ser repartido uniformemente a lo ancho de la técnica mediante una loseta u otra estructura que asegure un flujo laminar.

Análisis de los condicionantes de diseño.

En general las franjas filtrantes se proyectan como pretratamientos a otros SUDS, son elementos complementarios dentro de la cadena de drenaje, por lo que su diseño se resuelve en un contexto más amplio.

Análisis de viabilidad

Antes de proceder al diseño hay que comprobar que las franjas filtrantes son una solución viable. Para ello hay que analizar si las condiciones de la zona de proyecto son las adecuadas para el correcto desempeño de estos SUDS.

Pendiente del terreno

Para que el agua circule por la superficie de las zanjas, ésta ha de tener una cierta inclinación, para lo que se emplea la pendiente natural del terreno. Aunque pueden instalarse hasta pendientes del 10%, para el AMSS deberá estar entre el 2% y el 6% dados los riesgos de deslizamientos de laderas. Además, si se



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

usan estas franjas en suelos inestables con pendientes importantes, se pueden producir pequeñas zanjas o cárcavas que destruirían el flujo superficial uniforme e impedirían el buen funcionamiento de la técnica. Tampoco se recomienda su instalación cerca de taludes para evitar desprendimientos.

Suelo

Las franjas filtrantes pueden ser utilizadas en la mayoría de los lugares, pero hay que tener en cuenta que si cerca de la superficie hay Tierra Blanca Joven puede que se infiltre agua causando problemas dentro del sistema, por lo que habrá que evitar su instalación en esos casos o colocar una geolámina impermeable debajo del sustrato donde crece la grama que impida la percolación del agua. Lo idóneo es que la capa superior del suelo sobre el que se construye la franja filtrante permita el crecimiento de la vegetación densa, preferentemente de grama.

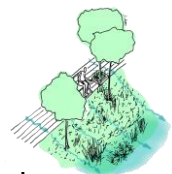
Área drenante

Las franjas filtrantes han de emplazarse justo al lado del área a drenar y de forma paralela, de manera que reciba el agua como una lámina desde la superficie drenante. Deben integrarse con el paisaje y diseño general del espacio donde se ubican. Se recomienda que debe haber por lo menos 1 m de longitud de franja filtrante por cada 6 m de la zona de aporte y que la longitud máxima del área impermeable a drenar sea de unos 50 m. Dado el espacio que necesitan, las franjas filtrantes no son buenas opciones en las zonas altamente urbanizadas ni donde la disponibilidad de terreno esté limitada.

Dimensionamiento

El punto de partida del dimensionamiento comienza con la estimación del caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años generado en el área impermeable aportante. Conocido éste se emplea Manning para estimar el ancho y largo de la franja. Pero teniendo en cuenta unos factores limitantes: la lámina de agua no ha de superar los 25 mm de altura para el caudal de diseño de 10 años de periodo de retorno y la carga hidráulica no ha de ser superior a 4,5 l/s por metro lineal. La altura de agua no ha de ser superior a la mitad de la altura del césped (se ha de mantener a 50 mm de altura máxima).

Franjas Filtrantes



Ancho de la franja (línea perpendicular al flujo de agua). Se puede estimar como:

$$A_F = \frac{Q}{4,5}$$

Ecuación 18. 13. Estimación de la anchura mínima de la franja filtrante.

Donde,

$Q(l/s)$: caudal total aportante a la franja desde superficies impermeables que evacuan hacia ella.

La altura de agua $H_F(m)$ de una lámina de caudal $Q (m^3/s)$ repartida en todo el ancho $A_F(m)$ de la franja, con una pendiente longitudinal $I(m/m)$ se puede estimar con la relación:

$$H_F = \left[\frac{0.05Q}{A_F \sqrt{I}} \right]^{3/5}$$

Ecuación 18. 14. Estimación de la altura que alcanza la lámina de agua en la franja.

El largo de la franja (en el sentido del flujo) (L_F) debe ser superior al mayor de los valores siguientes para que resulte efectiva:

$$L_F > 2,5m$$

$$L_F > 0,2 L_{APORTANTE}$$

Ecuación 18. 15. Ecuación de Manning para la estimación de la velocidad de flujo.

Con $L_{APORTANTE}$ = longitud del recorrido del agua sobre la superficie aportante de escorrentía antes de ingresar a la franja.

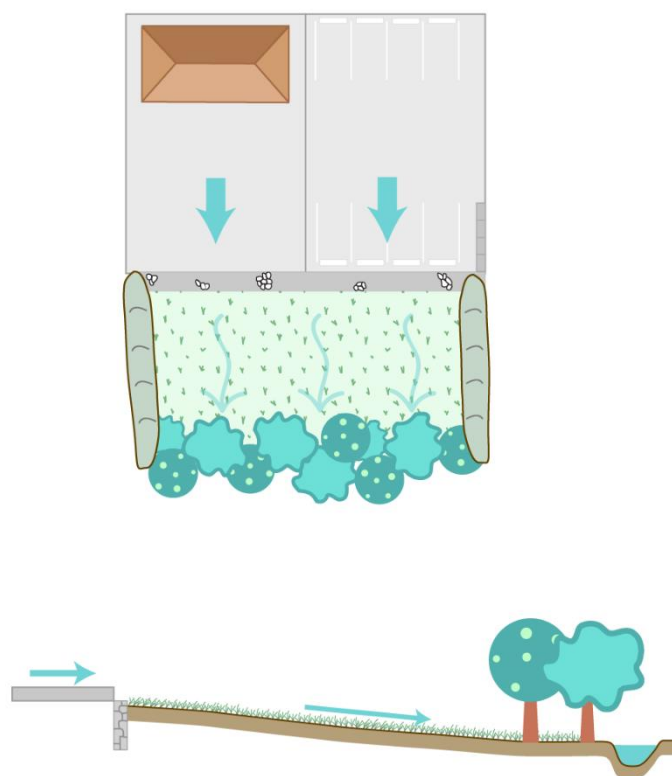


Figura 18. 1. Esquema en planta y perfil de una franja filtrante. Fuente: Adaptación CIRIA (2015).

Otros aspectos de diseño

El diseño de detalle incluye el diseño y dimensionamiento de los elementos auxiliares como son el acoplamiento con las superficies contiguas, la existencia de elementos de separación como superficies de suelo discontinuas, y la conexión con el drenaje general. Para asegurar que el flujo es constante y evitar problemas de erosiones, la parte superior y la inferior de la franja deben ser lo más lisas posible. A modo de pretratamiento se puede colocar una franja de gravas con una pendiente lateral suave en la parte superior de la franja filtrante.

Debe contemplarse cuál será la vegetación que se va a establecer, sus necesidades de plantación, de riego y de mantenimiento. Se necesita grama densa para favorecer la sedimentación, la filtración y la protección contra la erosión. La altura recomendable es de 3 a 5 cm y deben ser regados en la época seca si es necesario. Como anotación hay que indicar que cuando se mezclan diferentes tipos de plantas además del césped, la estabilidad del terreno aumenta.

Franjas Filtrantes



También es conveniente que las franjas filtrantes estén protegidas del tránsito de personas o vehículos ya que pueden dañar la vegetación o afectar al flujo laminar superficial.

Las franjas filtrantes no son efectivas para fuertes aguaceros, por lo que deben permitir que los caudales que exceden de los de diseño pasen por ellas hacia aguas abajo con seguridad, no ha de suponer un bloqueo.

En caso de que no se pueda producir la infiltración por estar localizadas sobre estratos de Tierra Blanca Joven.



Imagen 18. 13. Franja filtrante como pretratamiento de un sistema de detención superficial. Fuente: Elaboración propia



03. CONSTRUCCIÓN

Antes de comenzar con la construcción franja filtrante se ha de comprobar que la pendiente de la zona donde se va a implantar ha sido suficientemente estabilizada y se han tomado las correspondientes medidas para evitar erosiones y acumulaciones de sedimentos. La franja filtrante debe instalarse en época seca, en los meses más favorables para el establecimiento exitoso de la vegetación, lo que puede requerir de un riego y mantenimiento hasta que las plantas hayan crecido o hasta la época de lluvias.

En las zonas en las ya haya una vegetación establecida se debe tener cuidado para perturbarla lo menos posible (ya sea la que está en la superficie misma de la franja como la que haya en las zonas adyacentes) aunque, en algunos casos, la nivelación de la ladera donde se va a instalar la franja puede requerir la eliminación de esa vegetación existente.

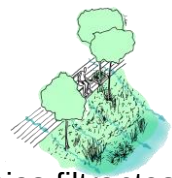
En el proceso de allanamiento de la superficie la maquinaria empleada ha de ser la más ligera posible para evitar la alteración de la tierra y la compactación del suelo.

Tras haber realizado los pasos anteriores, se ha de preparar la entrada del flujo en el borde superior de la franja para que sea laminar. En las que se instale una zanja de gravas, se ha de tener especial cuidado en no se compacte el subsuelo para permitir la infiltración.

Se debe revisar y refinar la nivelación de la superficie de la franja filtrante muy bien, esto es crucial incluso en franjas de pequeña envergadura puesto que cualquier irregularidad puede comprometer las condiciones para que se produzca el flujo laminar. Durante la construcción hay que cuidar que la inclinación longitudinal de la franja sea uniforme y consistente, sin ondulaciones marcadas que provoquen el estancamiento localizado o el movimiento canalizado del flujo del agua.

Realizar la plantación de semillas o instalar la grama y colocar los planteles, según requerimientos de diseño.

Franjas Filtrantes



Para que la plantación de semillas tenga éxito se debe afianzar franjas filtrantes con métodos de estabilización permanentes apropiados para el suelo, como el control de erosiones con el uso de geotextiles.

Una vez que la franja filtrante está suficientemente estabilizada pueden retirarse las medidas de control de erosión y sedimentación temporales que se hayan adaptado. Es muy importante que la franja filtrante tenga establecida plenamente establecida y desarrollada la vegetación antes de recibir la escorrentía de aguas arriba. Por ello, si su construcción alcanza la época lluviosa, han de protegerse de los flujos de aguas lluvias hasta que la capa de vegetación esté completamente formada desviando el flujo y cubriendo la franja.

Si más del 30 por ciento del área de tratamiento queda desnuda después de cuatro semanas del final de la construcción, se requerirá la resiembra o replantación hasta conseguir que la cobertura alcance el 90 por ciento.

En el caso de que una franja filtrante se utilice para el control temporal de sedimentos, podría necesitar ser nivelada y allanada de nuevo y habría que volver a sembrar inmediatamente después de estabilizarse.



04. MANTENIMIENTO

Para asegurar el buen funcionamiento de una franja filtrante es importante realizar inspecciones y un mantenimiento de manera regular y organizada.

La planificación y fases del mantenimiento deben desarrollarse durante la fase de diseño y las necesidades de cuidado de la franja de filtro deben ser supervisadas posteriormente para asegurar que se adaptan a los requisitos definidos en el proyecto.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

Eliminación de basura y residuos	Mensualmente o cuando sea necesario
El corte de la grama para conservar la altura dentro del rango de diseño especificado.	Mensualmente en época de crecimiento y después cuando sea necesario
Gestión de otros tipos de vegetación y eliminación de malas hierbas.	Al principio mensualmente y luego cuando sea necesario

Tabla 18. 41. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA

Tareas de mantenimiento ocasional

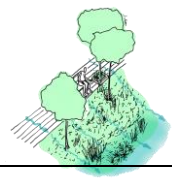
Comprobación del correcto crecimiento de la vegetación, labores de poda y retirada de hojas secas.	Anualmente
Volver sembrar en las áreas donde la vegetación sea pobre. Si las plantas escogidas en un primer lugar no dieron buenos resultados, se cambiarán por otras mejor adaptadas a las condiciones de la franja.	Anualmente, o si el suelo desnudo es el 10% o más del área de la franja.

Tabla 18. 42. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA

Acciones correctivas

Reparación de erosiones u otros daños mediante una resiembra.	Cuando sea necesario
Volver a nivelar superficies irregulares y restablecer niveles de diseño.	Cuando sea necesario
Escarificar y asentar la capa de mantillo para mejorar el rendimiento de la infiltración. Romper los depósitos de sedimentos que se hayan compactado en la superficie del suelo.	Cuando sea necesario

Franjas Filtrantes



Eliminar las incrustaciones de sedimento en la zanja de grava situada en el límite superior de la franja, así como de la línea de entrada de flujo.	Cuando sea necesario
En caso de que lleguen restos de aceites o residuos de gasolina, se habrán de eliminar mediante las prácticas estándar de seguridad.	Cuando sea necesario

Tabla 18. 43. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA

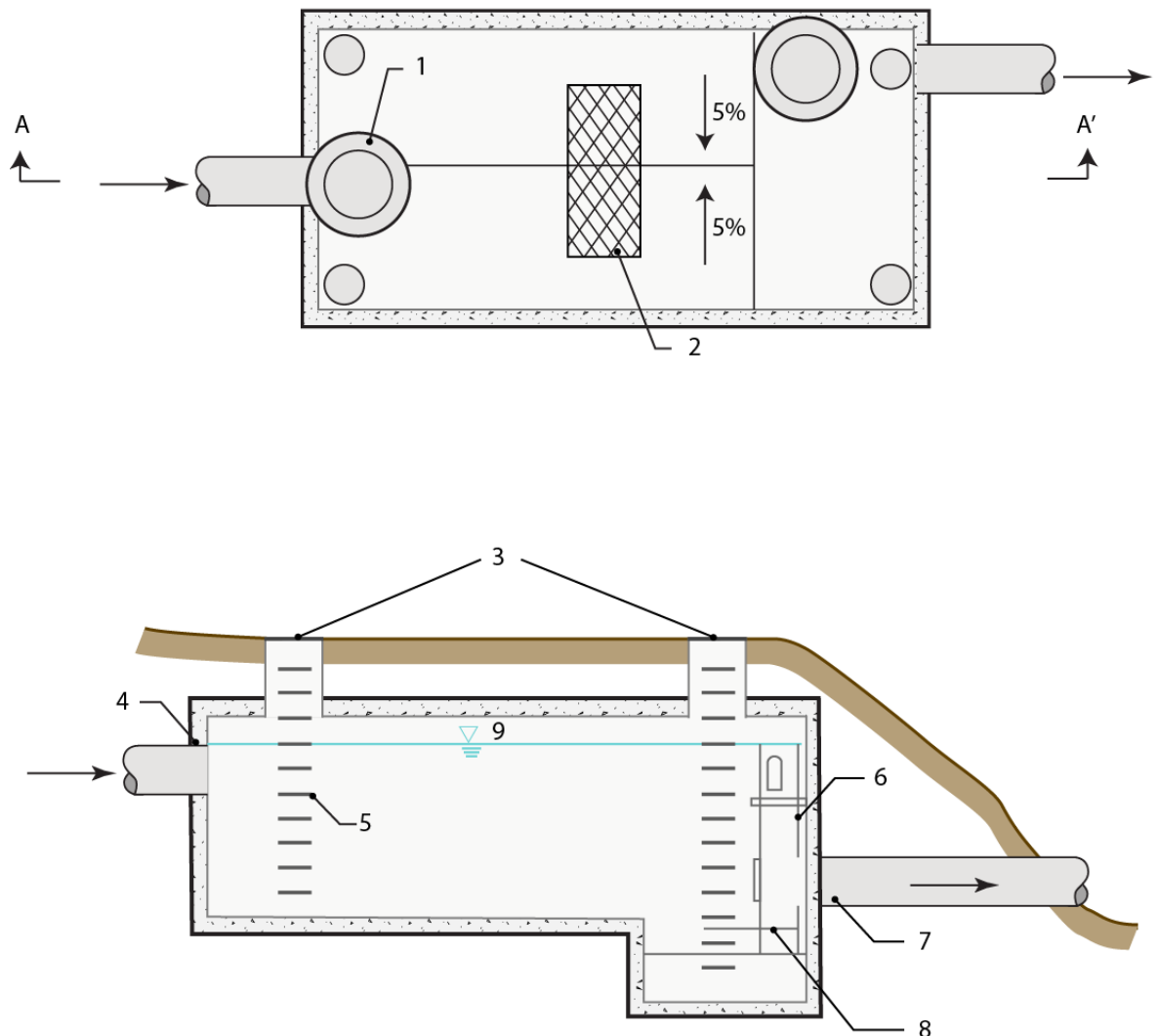
Monitorización

Inspección de la superficie de la franja para identificar evidencias de erosión, compactación, encharcamiento, sedimentación y contaminación.	Semestralmente
Comprobar que la línea de entrada de flujo está en buenas condiciones y que la superficie de la franja no ha sufrido variaciones en su pendiente.	Semestralmente
Inspección de la zanja de gravas para establecer los tiempos de colmatación y de limpieza de obstrucciones.	Semestralmente
Inspección de las tasas de acumulación de limos y sedimentos para establecer las frecuencias de eliminación adecuadas.	Semestralmente

Tabla 18. 44. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA

DEPÓSITOS SUBTERRÁNEOS DE DETENCIÓN

Capítulo 18

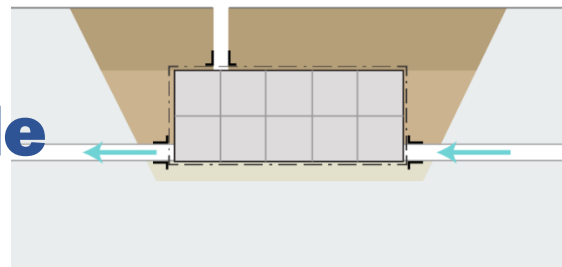


Hoja dejada intencionadamente en blanco

Depósitos subterráneos de detención

Capítulo 19

de



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

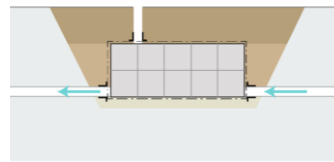
04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Son instalaciones subterráneas de almacenamiento de aguas que sirven como una alternativa a la detención en superficie para el control de la escorrentía, especialmente en áreas con restricciones espaciales donde no hay terreno disponible.

Están diseñados para controlar los caudales pico, limitar inundaciones aguas abajo, y proporcionar cierta protección al medio donde se vierte la escorrentía. Sin embargo, proporcionan una escasa eliminación de contaminantes, se puede producir sedimentación de partículas que son susceptibles a la resuspensión en posteriores tormentas.

Depósitos subterráneos de detención



¿Cómo funcionan?

La escorrentía va a parar a ellos donde se van acumulando hasta un determinado momento en el que sale un caudal más bajo que el caudal de entrada, laminando así el flujo.

Control de la cantidad de agua

Estos elementos no reducen el volumen de escorrentía, pero son muy eficaces en la laminación de la escorrentía de eventos pluviométricos.

Control de la calidad del agua

No ayudan en el control de la escorrentía, aunque sí que precipitan algunas partículas por la detención y pérdida de velocidad del flujo.

Valor paisajístico y medioambiental

Son elementos enterrados, no tienen valor ni ambiental ni paisajístico.

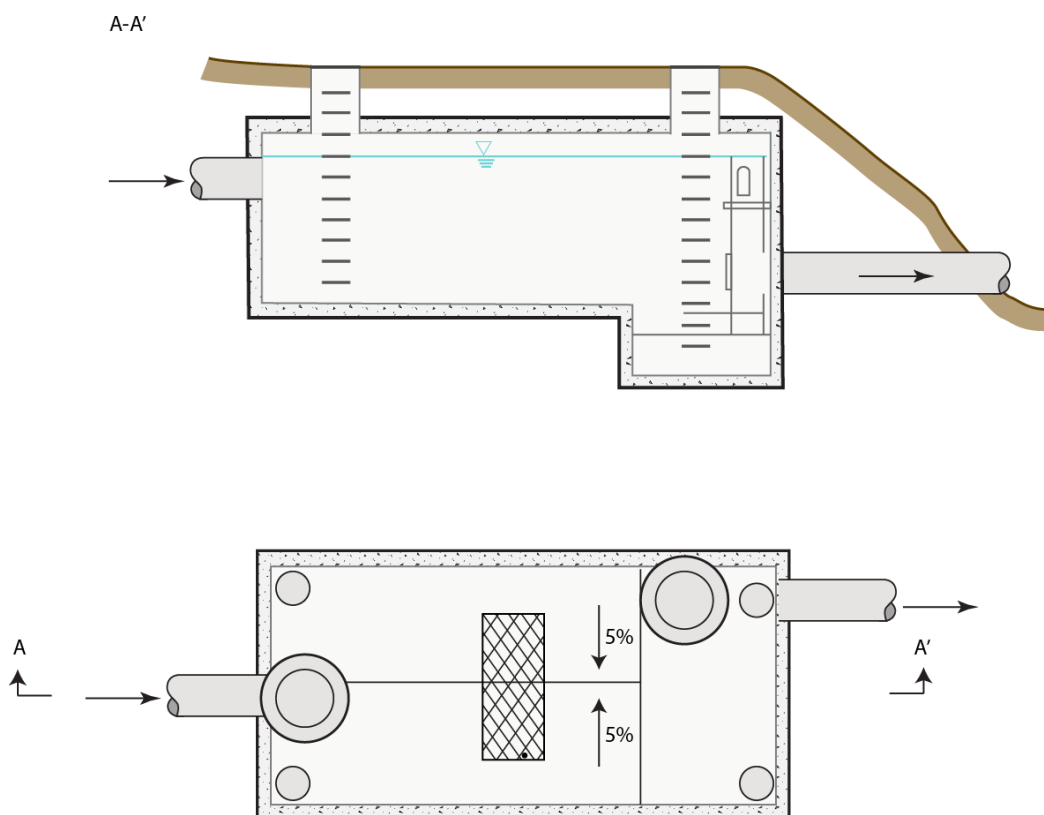
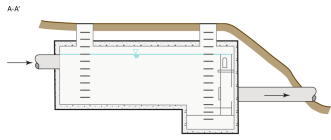


Figura 19.1. Esquema en planta y sección de un depósito de detención subterráneo. Fuente: Adaptación de Georgia Stormwater Management Manual



Tipos

Los sistemas de detención subterráneos pueden ser elementos de diferente naturaleza, siendo los más comunes:

- Sistemas de almacenamiento modulares formados celdas de plástico de alta resistencia envueltas en geomembranas impermeables.
- Tubos de gran diámetro (de plástico, acero o concreto)
- Elementos prefabricados (plásticos o de concreto)
- Depósitos contruidos in situ de concreto
- Estructuras híbridas entre los elementos anteriores
- La flexibilidad de formas y tamaños que ofrecen estos dispositivos, hacen que la detención subterránea sea fácilmente adaptable a cada sitio específico.

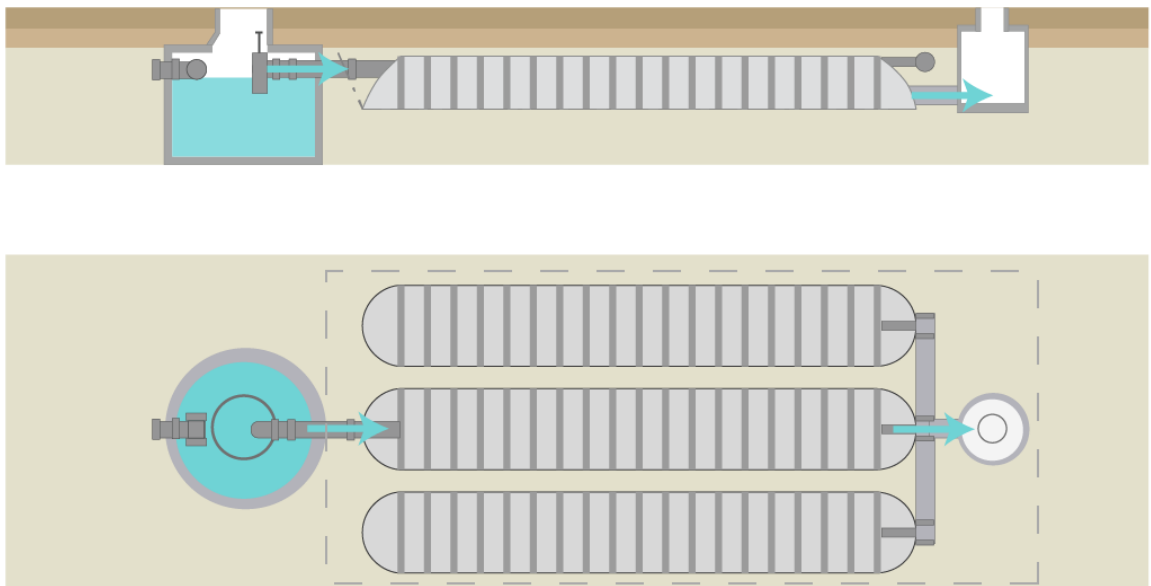
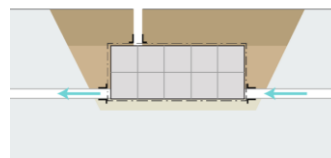


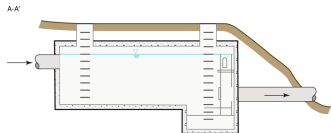
Figura 19.2. Esquema en planta y sección de un depósito de detención subterráneo formado por tres sistemas plásticos de almacenamiento puestos en serie. El flujo pasa por una decantación previa y sale a un pozo de control. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015)

Depósitos subterráneos de detención



• Usos típicos Atenuación de los caudales pico en zonas densamente pobladas. Control de cantidad de pluviales en sitios con disponibilidad de espacio restringida. Estacionamientos y otras áreas desarrolladas siempre que se pueda acceder al sistema para tareas de mantenimiento. Como parte de un tren de tratamiento de aguas pluviales, en combinación con otras prácticas de tratamiento que proporcionan reducción de contaminantes y/o recarga de aguas subterráneas.	
• Ventajas: Proporcionan un alto volumen de almacenamiento y no ocupan espacio en superficie, lo que es útil en suelos densificados, como es el caso del AMSS. Pueden emplearse bajo parqueos, aceras y plazas en condominios siempre que estén diseñados para soportar cargas de tráfico. Los diferentes tipos de detención presentan distintas resistencias a la carga estructural, en todos los casos se evitará su instalación en calzadas y carreteras y se requerirá de un diseño estructural del dispositivo seleccionado.	• Limitaciones: No es útil para tratamientos de la calidad del agua (generalmente brindan menos de 24 horas de detención). Susceptibles a la resuspensión del material resuelto por tormentas sucesivas. No reducen el volumen de escorrentía ni facilitan la recarga de acuíferos. Pueden verse afectados si se instalan enterrados en tierra blanca joven (TBJ) ya que si a ésta llega agua, cambia la estructura del subsuelo y puede afectar a la disposición del sistema. Por ello se deben tomar medidas preventivas durante la construcción para evitar que esto ocurra. En algunos casos se deberá utilizar sistema de bombeo para su desfogue y rebalse.
• Requisitos de mantenimiento: Deben revisarse y limpiarse antes de la temporada de lluvias para comprobar que no hay pérdida de volumen de almacenamiento útil por deposición de sedimentos.	• Rendimiento: Reducción del caudal punta: Bueno Reducción de volumen: Nulo Tratamiento de calidad de agua: Bajo Potencial beneficio social/urbana: Medio-Alto Potencial ecológico: Bajo

Tabla 19. 1. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA



02. DISEÑO

Análisis de los condicionantes de diseño.

Ubicación

Los sistemas de detención subterránea se instalan para tratar la escorrentía de pequeños desarrollos urbanos. Deberán ser emplazados en lugares fácilmente accesibles para las labores de mantenimiento. Además, se evitarán áreas o estructuras en las que no puedan excavar en caso de que sea necesario un reemplazo.

Los depósitos subterráneos se pueden diseñar como sistemas en línea o en paralelo a la red de drenaje secundaria. La selección de una u otra localización dependerá de la disponibilidad espacial para instalar el depósito y de las necesidades específicas de drenaje de cada zona.

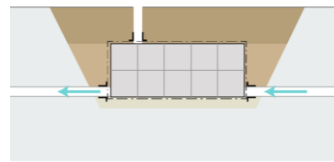
Condicionantes estructurales

Cada uno de los diferentes tipos de depósitos de detención subterránea que se han mencionado, tiene una metodología específica de diseño estructural según su forma y los materiales con los que se ha fabricado, que, para el caso de AMSS ha de seguir las recomendaciones de los estándares de calidad de la American Society of Testing and Materials (ASTM) y, por supuesto que cumpla con el *Reglamento para la seguridad Estructural de El Salvador*.

En cualquier caso, el proyectista ha de considerar los factores que se enumeran a continuación, que en muchos casos dependerá del sistema a emplear, por lo que es fundamental la comunicación entre el diseñador y el fabricante del sistema (en caso de ser prefabricado):

- Influencia de las condiciones específicas del suelo en el desempeño estructural e hidráulico del depósito
- La influencia del tanque en el suelo circundante.
- Posibles procesos de deformación para el diseño de tanques o celdas modulares plásticos.

Depósitos subterráneos de detención



- Aplicabilidad y relevancia de los resultados de las pruebas de resistencia del laboratorio de los fabricantes
- Limitaciones de diseño de los fabricantes en el rendimiento del sistema como las restricciones en profundidad
- Rendimiento estructural previsto y escenarios que pueda llevar a una sobrecarga
- La afectación al sistema por variaciones en los niveles piezométricos
- La influencia de la infiltración de agua en el suelo circundante por si puede producir fallas estructurales en el sistema

Se deben verificar que el depósito se mantendrá estable durante su vida útil por lo que, se debe verificar que:

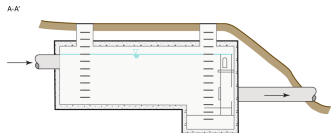
- La estructura es estable bajo cargas normales de trabajo para las obras permanentes
- Bajo cargas accidentales se debe confirmar la capacidad de las unidades para soportar cargas extremas ocasionales, por ejemplo, vehículos pesados.
- Se mantiene la estabilidad de la estructura durante las obras de instalación.

Dimensionamiento

La estimación del volumen necesario laminar se realizará para una tormenta de diseño de 10 años de periodo de retorno y una hora de duración, a menos que OPAMSS determine que hay que emplearse otro valor por motivos de seguridad. Por motivos de seguridad es recomendable que el depósito tenga un resguardo del 20% y una salida de emergencia.

La entrada al depósito se produce desde una tubería dimensionada para poder transportar todo el caudal de entrada, que procederá de un pozo previo de decantación que se instala para que los sólidos suspendidos precipiten antes de su entrada al sistema.

La laminación de los caudales pico se producen mediante el control de la salida de flujo del sistema. Ésta se ha de calcular como un orificio en caso de estar



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

sumergida o un vertedero en el caso de que no. Además, si se trata de un sistema de control regional, también deberá de disponer de un dispositivo de salida de emergencia diseñado para una tormenta de 50 años de periodo de retorno y una hora de precipitación. Esta salida se calculará como vertedero y puede ser un tubo, un vertedero lateral o un dispositivo especial prefabricado (en cuyo caso habrá que preguntar al fabricante por su capacidad y características). Este elemento es necesario para evitar que el sistema pierda su capacidad de funcionamiento y para dar una salida segura al caudal excedente.

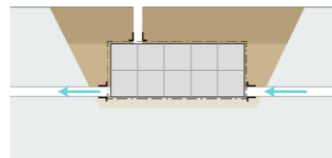
Los puntos de salida de los depósitos de almacenamiento subterráneo serán dos claramente diferenciados. Uno, la tubería de desfogue situado a nivel de la solera de la estructura cuyo diámetro vendrá determinado por la necesidad de desaguar el tanque en un máximo de 24 horas. Y la salida de emergencia, situada en la parte superior del sistema, de manera que sólo comienza a evacuar el agua que alcanza una determinada altura dentro del sistema.

Puesto que en muchos casos se trata de elementos prefabricados, las entradas, salidas, y otros elementos adicionales tienen también unas dimensiones predeterminadas. Habrá que comprobar que se adecúan para proyecto específico.

En la mayoría de los casos es conveniente que, del depósito, el agua se dirija a un pozo de control y, de ahí, saldrá el colector hacia la red de drenaje.

El dimensionamiento del volumen necesario para el depósito puede realizarse de igual manera que los estanques de laminación, partiendo de un balance de masas entre el hidrograma de entrada (determinado por la pluviometría y el tamaño de cuenca) y el de salida (que dependerá de la altura de la lámina de agua alcanzada en el depósito y de las características físicas del elemento de salida).

Puesto que son elementos que aportan gran caudal a la red de microdrenaje, y dada la situación de ésta en el AMSS, cuando se haya hecho el dimensionamiento, será conveniente crear un modelo en el que se simule el funcionamiento conjunto del depósito y con el tramo (ya sea macro o micro drenaje) donde descarga, para asegurar un funcionamiento hidráulico correcto dentro del contexto en el que se enmarca.



03. CONSTRUCCIÓN

Todas las estructuras de los tanques deberán construirse de acuerdo con la normativa de El Salvador en materia de infraestructuras y probadas antes de su puesta en marcha para asegurar su hermetismo. Esto es muy importante ya que el rendimiento exitoso de cualquier sistema depende del tipo y la profundidad del lecho, del relleno, y de su instalación.

Comprobaciones previas

Se deben realizar verificaciones de control de calidad en la entrega de productos (elementos prefabricados, material de relleno, ...).

También ha de comprobarse el buen estado de los elementos que se van a emplear en su manejo o almacenamiento en obra y que el uso se hace según indicaciones del fabricante.

Se debe evitar que la escorrentía ingrese a los depósitos durante la construcción, por lo que se recomienda su construcción en época seca.

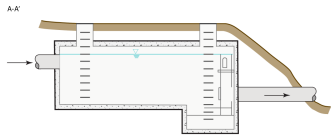
Excavación

Las excavaciones deben mantenerse libres tanto de agua subterránea como de escorrentía superficial. El control del agua subterránea es de gran importancia para la seguridad y la estabilidad de la unidad del tanque (especialmente para las celdas plásticas), así como para la estabilidad de la excavación. La entrada de agua subterránea en una excavación que contiene un tanque de atenuación sellado puede provocar la falla de un tanque plástico por flotación antes de que el relleno se coloque sobre él.

La base de la excavación en la que se coloca el tanque debe estar limpia, firme y nivelada, de lo contrario pueden aparecer problemas estructurales, también se recomienda poner en la base un lecho de arena o gravilla.

Colocación y ensamblaje de estructuras / tuberías / otros elementos

Todos los tipos de tanques deben colocarse y ensamblarse de acuerdo con las normas, especificaciones y orientación pertinentes.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

El relleno

Para cualquier tanque, el lecho, el relleno o el cerramiento son críticos para el rendimiento estructural, y debe cumplir con todas las suposiciones hechas por el calculista de estructuras.

En caso de ejecutar tanques de hormigón, las excavaciones se pueden rellenar con material excavado que no contenga partículas grandes ni materiales filosos y puede bien compactado. La previsión es que se coloque bajo las aceras, pero en caso de que se decidan trasladarlas a la calzada, el relleno y tipo de compactación vendrá definida por la normativa en materia de carreteras o de infraestructuras aplicable al AMSS. Siempre habrá que tener en cuenta que el uso de un relleno de baja calidad puede aumentar significativamente las presiones laterales del subsuelo en los tanques y provocar un colapso.

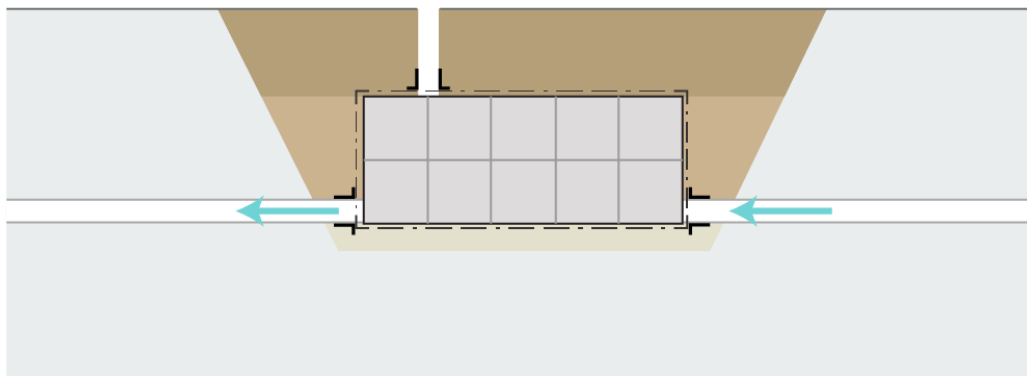
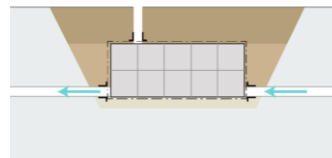


Figura 19.3. Ejemplo depósito subterráneo compuesto por celdas plásticas con la sección de excavación y relleno ajustados para repartir las cargas. Fuente: Adaptación CIRIA (2015)

Envolvente

Todos los tanques de almacenamiento deben ser herméticos, tanto si son de hormigón como de celdas plásticas envueltas en membranas. Durante la construcción es conveniente comprobar que no existan fugas, verificándolo “in situ”.



04. MANTENIMIENTO

Se deberá facilitar un acceso para el mantenimiento adecuado para todos los sistemas de detención subterránea (incluidos pozos previos de desbaste y posteriores de control). Las aberturas de acceso pueden consistir en una rejilla y una cubierta sólida, o un panel extraíble, dependerá de la tipología del depósito.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

Inspeccionar e identificar cualquier elemento que no esté funcionando correctamente.	Inspección mensual el primer trimestre y luego anualmente y después de una tormenta importante
Eliminar sedimentos de la cuenca aportante	Semanalmente, con frecuencia diaria en días previos a previsiones de tormentas
Retirar sedimentos de pozos de entrada y salida, así como revisión de rebosaderos	Anualmente o cuando se requiera

Tabla 19. 45. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA

Acciones correctivas

Reparar / rehabilitar entradas, salidas, rebosaderos y conductos de ventilación	Cuando se requiera
---	--------------------

Tabla 19. 46. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA

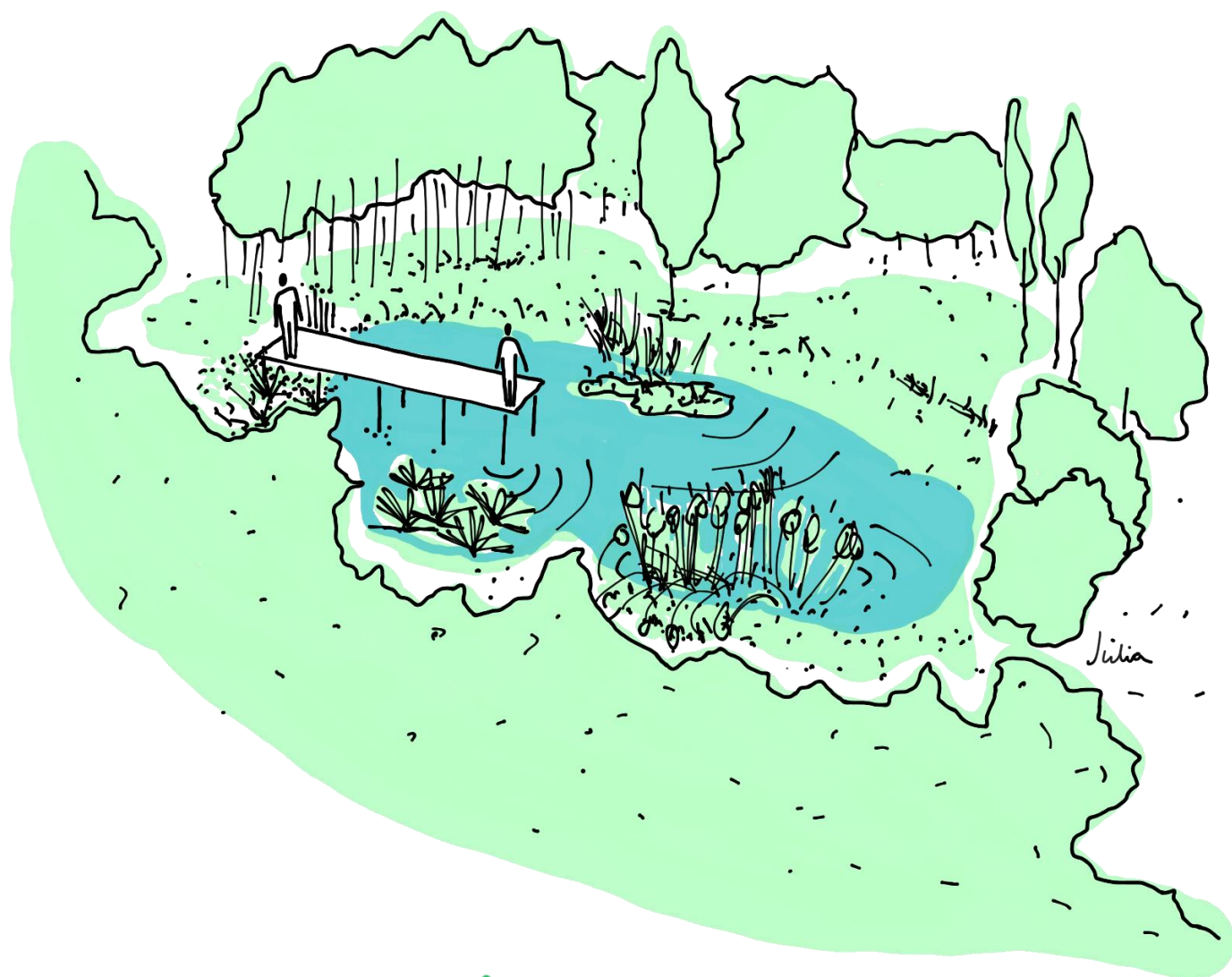
Monitorización

Comprobar que todas las entradas, salidas, salidas de aire y desbordamientos para asegurarse de que estén en buenas condiciones y que funcionan según lo previsto	Anualmente
Inspeccionar el interior del tanque para si hay acumulación de sedimentos y eliminación	Anualmente o cuando se requiera

Tabla 19. 4. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA

ESTANQUES DE LAMINACIÓN

Capítulo 20



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Estanques de Laminación

Capítulo 20

de



01. DESCRIPCIÓN

02. DISEÑO

03. CONSTRUCCIÓN

04. MANTENIMIENTO

01. DESCRIPCIÓN

Son depósitos de almacenamiento a cielo abierto que se diseñan para vaciarse totalmente después de un periodo relativamente corto tras una tormenta, por lo que gran parte del tiempo se encuentran vacíos o secos. Pueden ser infraestructuras grises de concreto o losas o infraestructuras verdes, realizadas en suelo natural con vegetación.

Su objetivo fundamental es reducir los caudales máximos hacia aguas abajo, pero en época seca el espacio que ocupan puede ser empleado para otras funciones, como cancha deportiva, por ejemplo. Todo dependerá de su diseño y el uso que se pretenda dar.



¿Cómo funcionan?

Las aguas lluvias se canalizan normalmente a un estanque a través de un sistema de tubos, de una red de canales o de otras técnicas sostenibles como cunetas verdes. Allí son almacenados durante algún tiempo y el caudal sale laminado por un punto de control.

Control de la cantidad de agua

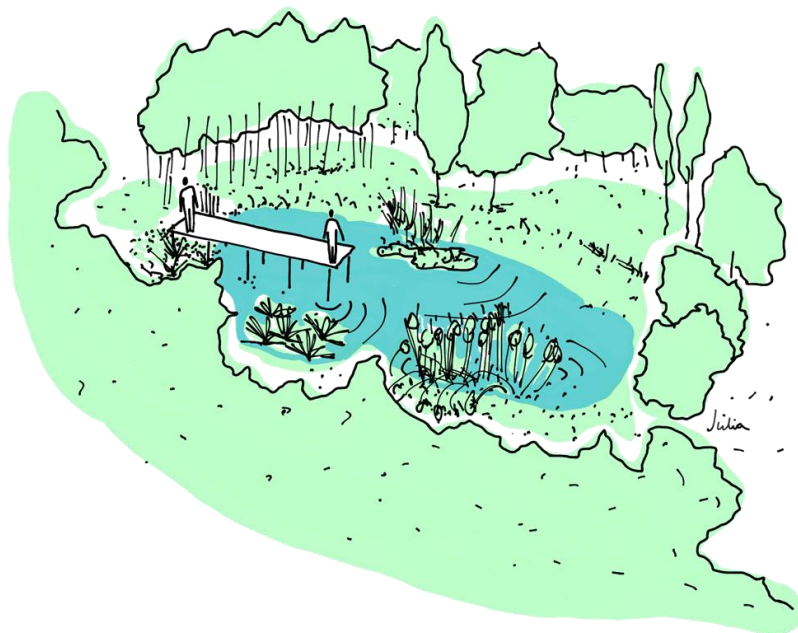
Proporcionan una excelente función como reductores del caudal punta.

Control de la calidad del agua

Con las lagunas se puede obtener una mejora de la calidad del agua, especialmente a través del proceso de sedimentación de contaminantes sólidos, pero dependerá del tiempo que el agua permanezca estancada.

Valor paisajístico y medioambiental

Si están ajardinados con una gran variedad de herbáceas, arbustos y plantas típicas de humedales, aumenta la estabilidad de sus orillas y los hace más estéticos, pudiendo funcionar como espacios recreativos.





Componentes básicos de un estanque de laminación

- Entrada
- Disipador de energía (opcional)
- Sedimentador (opcional)
- Zona de almacenamiento
- Vertedero de seguridad
- Colector de salida

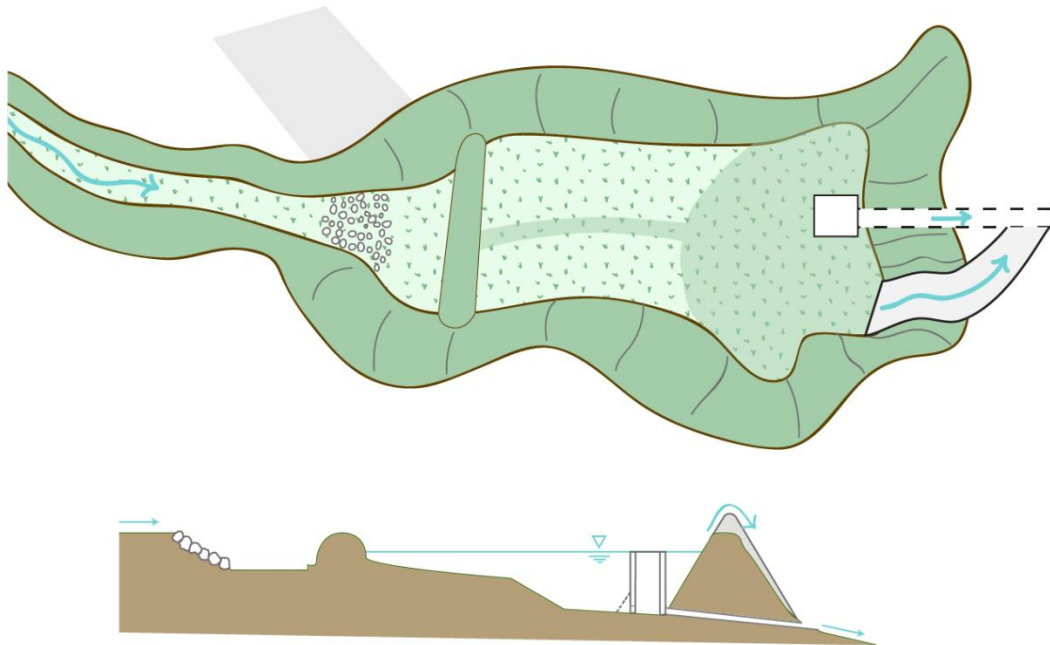


Figura 20. 20. Ejemplo de planta y perfil de un estanque de laminación. El agua entra por la izquierda, pasa una zona donde pierde velocidad y entra a la laguna propiamente dicha. La salida se produce por la cámara de descarga (recuadro en el esquema) y por el rebosadero de emergencia cuando alcanza una determinada altura. Fuente: Adaptación Minvu y Ciria (2015).



• Usos típicos - Gestión de la escorrentía en zonas residenciales de no muy alta densidad donde además de dar valor paisajístico puede tener otros usos sociales.	
• Ventajas: - Tiene capacidad de gestión para tormentas con período de retorno alto. - Elimina parte de los contaminantes urbanos - Con el fondo impermeabilizado, puede utilizarse donde las aguas subterráneas sean vulnerables. - Suele tener buena aceptabilidad en las comunidades - Alto potencial ecológico, estético y puede tener usos recreativos. - Pueden agregar valor a las propiedades locales.	• Limitaciones: - No se produce ninguna reducción significativa en el volumen de escorrentía. - Sin una entrada de agua regular, se pueden dar condiciones de anaerobiosis. - En zonas densamente pobladas existe limitación de espacio. - No es recomendable su construcción en zonas escarpadas. - Colonizaciones por especies invasoras podrían aumentar las necesidades de mantenimiento.
• Requisitos de mantenimiento: - Se debe proporcionar una vía de acceso de mantenimiento que sea suficientemente robusta para soportar equipos de mantenimiento y vehículos. Labores típicas de mantenimiento serían: - Eliminación de restos y residuos. - Mantener en buen estado la vegetación (de existir), tanto la de los laterales como la sumergida - Limpiar las entradas y salidas de agua - Controlar el nivel de sedimentos y eliminar cuando sea preciso - Promover la aireación cuando aparezcan signos de eutrofización.	• Rendimiento: - Reducción del caudal punta: Bueno - Reducción de volumen: Escaso - Tratamiento de calidad de agua: Bueno - Potencial beneficio social/urbana: Bueno - Potencial ecológico: Medio (o bueno, según diseño)

Tabla 20. 47. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Adaptación CIRIA



02. DISEÑO

Análisis de los condicionantes de diseño

Área drenante

Normalmente, el espacio requerido para este tipo de lagunas es aproximadamente entre un 0,5% a un 2% del total del área aportante.

Suelo

Pueden instalarse en cualquier tipo de suelos, pero ello debe considerarse en el diseño, puesto que si es permeable deberá acondicionarse con una geolámina u otro sistema impermeabilizante para evitar la infiltración.

Hidrología

En la selección del periodo de retorno para la estimación de caudales, al tratarse de una obra de control local/regional que acumula las aguas lluvias de una zona extensa, además del Reglamento OPAMSS habrá que tener en cuenta lo dispuesto por la entidad competente ambiental, el MARN. Ya que, de tratarse de una infraestructura hidráulica para el control del impacto hidrológico en la “Guía de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos” viene definido que el periodo de retorno a emplear para el dimensionamiento es de 25 años.





Imagen 20. 14. Infraestructura gris de acumulación y laminación con salida al siguiente depósito superficial. Fuente: Elaboración propia

Dimensionamiento

En el diseño en planta del estanque se debe considerar una expansión gradual desde la zona de entrada de la escorrentía hacia el centro y de ahí una contracción hacia la salida, con el fin de impedir atoramientos o acumulaciones de agua en zonas no deseadas. El largo del estanque ha de ser más del doble del ancho y si es posible cuatro veces o más

También se recomienda un diseño con dos alturas o niveles, así la escorrentía de las lluvias más frecuentes se moverá por la zona más profunda no extendiendo la carga de sedimentos por toda la extensión del estanque, lo que facilitará posteriormente las tareas de mantenimiento.

Si el estanque va a recibir finos y sedimentos, se aconseja incrementar un 20% el volumen de almacenamiento para no perder capacidad hidráulica.

En el Bloque 2. Modelo Conceptual se muestra cómo hacer una estimación de un elemento de retención o almacenamiento a continuación, se profundiza un poco más en el cálculo de volúmenes y caudales para el estanque de laminación.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Existen varios procedimientos para estimar el volumen de almacenamiento necesario. Un método sencillo es a partir del hidrograma de entrada y el de salida.

Existen varios procedimientos para estimar el volumen necesario, el más típico es considerar la ecuación de continuidad en su forma diferencial a partir de los hidrogramas de entrada y de salida:

$$\frac{dV}{dt} = Q_E - Q_S$$

Ecuación 20. 16. Variación del volumen acumulado en fusión de los caudales de entrada y salida.

$\frac{dV}{dt}$, Volumen en el estanque en un momento determinado

Q_E , Caudal de entrada en un momento determinado

Q_S , Caudal de salida en un momento determinado

Uno de los métodos más empleados para la integración de esta ecuación es el de la curva de acumulación del “Soil Conservation Service” del Departamento de Agricultura de USA, que parte de que los caudales de entrada y salida se pueden representar para un intervalo de tiempo Δt como la media de caudal al principio y al final del intervalo, con lo que el caudal de entrada es:

$$Q_E = \frac{(Q_{E_t} + Q_{E_{t+\Delta t}})}{2}$$

Ecuación 20. 17. Caudal de entrada.

el de salida

$$Q_S = \frac{(Q_{S_t} + Q_{S_{t+\Delta t}})}{2}$$

Ecuación 20. 18. Caudal de salida.

Y el volumen en ese intervalo de tiempo:

$$V_{t+\Delta t} - V_t = \frac{(Q_{E_t} + Q_{E_{t+\Delta t}}) \cdot \Delta t}{2} - \frac{(Q_{S_t} + Q_{S_{t+\Delta t}}) \cdot \Delta t}{2}$$

Ecuación 20. 19. Estimación del volumen acumulado en un margen de tiempo determinado.

Esta es una metodología simplificada que se recomienda acompañe con un modelo hidráulico del funcionamiento del estanque, para lo cual pueden emplearse un software de simulación hidráulica.



Diseño de los elementos adicionales

Entrada de flujo

La entrada al estanque puede producirse por un tubo emboquillado o un canal con protección contra la erosión como un lecho de rocas que actúa como disipador de energía. Además, pueden existir uno o varios puntos de entrada de caudal.



Imagen 20. 15. Una de las múltiples entradas laterales de estanque de laminación de tipo infraestructura gris. Fuente: Elaboración propia

Taludes del estanque

Deben facilitar la entrada y salida de los operarios y maquinaria que realicen los trabajos de mantenimiento y además no suponer un riesgo para las personas por caídas, por lo que se recomienda que tengan pendientes suaves tipo 4H:1V (a menos de que se trate de una infraestructura gris, que en ese caso podrán ser verticales). En los taludes aguas abajo, por donde se encuentra el dispositivo de



caudal, la corona del talud se aconseja que la corona del talud deje un resguardo de 0,3m sobre la cota máxima de la lámina de agua para el volumen de diseño.

Vegetación

Aquellas lagunas que son infraestructuras grises (elementos completamente artificiales recubiertos de losas, concreto...) no necesitan de un recubrimiento protector. Pero en aquellas realizadas en el suelo natural se debe cubrir la superficie de vegetación del estanque ayuda a controlar la erosión y retiene las partículas que arrastra la escorrentía. Una opción es plantar grama o plantas cuyas raíces no dañen a la capa de geolámina impermeabilizante (si la llevara) ni faciliten la infiltración del agua.

En el diseño de estos elementos hay que tener en cuenta que necesitarán de revisiones y reemplazo de vegetación, por lo que el proyectista ha de contemplar los posibles pasos para que los operarios puedan realizar su trabajo correctamente y de forma segura.

Salida

Cámara o caja de descarga

Es el elemento por que sale el caudal desde el estanque. Existen diferentes tipos, una muy común es una cámara vertical conectada al colector de salida que atraviesa el talud hacia el punto de vertido y que está abierta en la parte superior donde se dispone una reja y por donde entra el agua cuando alcanza esa altura (que es la máxima de almacenamiento). También pueden emplearse una más simple consistente en un muro con un orificio de salida y una reja en disposición oblicua. No se recomienda el uso válvulas o compuertas que demanden la presencia de personal durante las tormentas. La estimación del caudal que entra en la cámara vertical puede realizarse considerando que el agua pasa por un orificio y el que lo hace por la reja superior una vez alcanza el agua cierta altura, considerando su funcionamiento tipo vertedero, como se muestra en el Módulo 2.

Estanques de Laminación

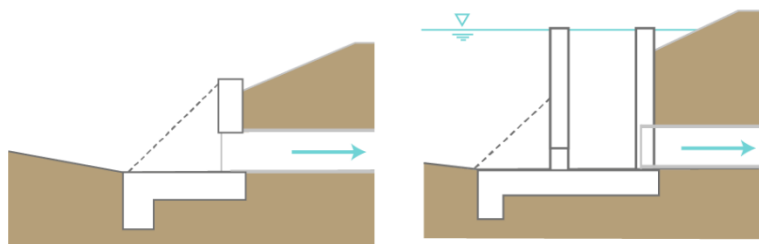


Figura 20. 21. Ejemplo de sección de dos cámaras de descarga. A la izquierda una salida simple, el agua pasa por la reja inclinada y entra al tubo de salida. A la derecha el agua pasa por un orificio que establece el caudal de salida y, si se alcanza una determinada altura, sale por la parte superior de la cámara que está protegida por una reja, el colectores de salida en este caso ha de tener capacidad para evacuar el caudal que entra por el orificio y el que lo hace por la parte superior de la cámara. Fuente: Adaptación Minvu.

Colector de salida

Desde la cámara sale el colector por el que sale el caudal laminado. El caudal máximo que debe salir por él será el determinado según el tipo de punto de vertido y lo establecido en el Permiso de Factibilidad, por lo que se puede dimensionar como:

$$A_C = \frac{Q_{max}}{\sqrt{\frac{2gh}{K}}}$$

Ecuación 20. 20. Área del colector de salida.

A_C , área de la sección del colector de salida

Q_{max} , Caudal máximo que ha de salir por el conducto

h , Distancia desde la superficie de la lámina de agua hasta el centro del orificio

K , coeficiente de pérdida de carga total en el conducto,

$K = k_e + k_s + f/D_C$, con k_e como las pérdidas a la entrada, k_s como las pérdidas a la salida, f , coeficiente de fricción y D_C diámetro del colector. Se pueden emplear los valores típicos de $k_e=0.2$, $k_s=1$ y como coeficientes de fricción:

Material	Factor de fricción
PVC	0,012
Acero	0,015
Cemento	0,018

Tabla 20. 48. Valores típicos de coeficientes de fricción

Vertedero o rebosadero de seguridad

Este elemento sirve para desaguar de forma segura el excedente de caudal que se va acumulando en el estanque. Se puede dimensionar como un vertedero de pared gruesa o fina, según sea la morfología del elemento (ecuación en Bloque 2. Fase 3). El caudal de diseño a emplear es la diferencia entre el caudal



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

generado por un periodo de retorno mayor al de diseño de volumen (cumpliendo con lo establecido en el Reglamento a la ley De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños con sus anexos, será de $Tr=50$ años) y el caudal que se evacúa por el colector de salida.



*Imagen 20. 16. Estanque de laminación con un talud escalonado de adoquines y otro de suelo vegetado.
Fuente: Elaboración propia*



03. CONSTRUCCIÓN

En esta guía se muestra el dimensionamiento hidráulico de estos sistemas, pero éste necesita de un estudio de la estructura del suelo donde se va a instalar que asegure que los muros, paredes o taludes que contienen el volumen de agua no se van a desprender ni derrumbar por el empuje del agua y por problemas causados por TBJ.

Estos sistemas son excavaciones en el terreno que contienen, como mucho, alturas de dos metros de agua de profundidad y que durante largos periodos va a estar seco. Por eso puede dársele un doble uso, para lo que los taludes han de tener pendientes muy suaves. Esto tiene una ventaja a nivel constructivo pues no se requieren muchas actuaciones para mantener la estabilidad de los taludes durante la excavación y posterior operatividad del sistema. Pero no todas las lagunas tienen la misma composición ni los mismos materiales, unos pueden ser de base de concreto para revisar erosiones, otros pueden ser cauces existentes modificados, en otros se emplea una geolámina que impermeabiliza una oquedad en el suelo, por lo que los procedimientos constructivos variarán en cada caso. Por ello a continuación se dan unas recomendaciones básicas generales.

Previamente a comenzar las obras se han de analizar todos los aspectos que pueden producir algún problema durante la construcción como son la posible aparición de problemas estructurales por el tipo de suelo, la presencia de escombros enterrados en la zona donde se va a implantar el sistema, los límites por las colindancias vecinales, ...

Además de los ensayos geotécnicos realizados para estudiar la adecuación del terreno en la fase de proyecto, se deben realizar estudios del suelo durante la construcción de las obras para comprobar la estabilidad de los taludes o muros empleados como delimitadores del estanque.

La excavación y los movimientos de tierras han de quedar programados, se debe establecer el destino del suelo excavado, si va a emplearse en el proceso constructivo con posterioridad o si no, su destino final.



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Antes de la excavación se deben eliminar elementos que impidan o dificulten la excavación, como árboles o estructuras inservibles que deberán ser demolidas. También se debe disponer con un sistema de drenaje provisional que desvíe el agua hasta que la obra esté acabada, para evitar que el agua entre en la depresión excavada.

La excavación generalmente se realiza con maquinaria, y se ha de disponer de una planificación con las excavaciones y movimientos de tierras indicando si hay alguna zona por la que no deban pasar las máquinas y marcándola sobre el terreno.

Un aspecto importante en el control de los movimientos de tierra es el relacionado con los niveles para asegurar el correcto funcionamiento hidráulico de la obra. Es muy importante establecer un sistema de control de las cotas o niveles que asegure que las cotas de los elementos que componen el sistema siguen las indicaciones de proyecto para que la línea de agua circule según cálculos. Modificar los niveles de los elementos en la construcción establecerá unas velocidades del agua diferentes a las de diseño.

Para finalizar, puesto que se trata un sistema sostenible, lo ideal es que los mismos materiales excavados sirvan para construir los muros (de llevarlos), si sus características mecánicas e hidráulicas lo permiten.



04. MANTENIMIENTO

Las lagunas de laminación no requieren de un mantenimiento muy frecuente y exhaustivo, pero dependerá en gran parte de los usos secundarios que se le dé en periodo seco.

Si se trata de un espacio abierto al público es importante mantenerlo en buenas condiciones de limpieza y que las obras de entrada y salida no sean accesibles para evitar problemas que puedan hacer que el agua permanezca estancada más tiempo del de diseño. Las lagunas en el AMSS no han de retener el caudal de tormenta por más de 24 horas, es preferible que desagüen en 12 horas máximo dadas las frecuencias en época lluviosa. Estancamientos prolongados de la esorrentía favorecen el desarrollo de mosquitos que hacen necesario el empleo de pesticidas.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

- Limpiar de basuras la superficie e inmediaciones del estanque	- Mensualmente o cuando se requiera
- Retirar la vegetación seca y revegetar zonas que lo necesiten	- Mensualmente el primer año, después cuando se requiera
- Limpiar entradas, salidas y aliviadero	- Anualmente antes del comienzo de la época de lluvia, al final de la misma o cuando se requiera
- Inspeccionar el estado de finos y sedimentos en los puntos de entrada, salida y cámara de sedimentación para definir un plan de mantenimiento y limpieza anual	- Mensualmente en la época de lluvias (el primer año)

Tabla 20. 49. Tareas recomendadas en el mantenimiento regular. Fuente: CIRIA (2015)

Tareas de mantenimiento ocasional

- Poda de arbustos (si los hubiera) y retirada de restos	- Cada dos años o cuando se requiera
- Cortar la grama	- Estacionalmente o cuando se requiera

Tabla 20. 50. Tareas recomendadas en el mantenimiento ocasional. Fuente: CIRIA (2015)

Acciones correctivas

- Reparar posibles socavones o pérdidas de suelo por erosiones	- Cuando sea requerido
--	------------------------



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

- Recolocación del lecho de grava/roca empleado como dissipador de energía	- Cuando sea requerido
- Rehabilitación de los elementos que componen las entradas, salidas y vertederos	- Cuando sea requerido
- Reajustar los niveles de la superficie a los de diseño	- Cuando sea requerido

Tabla 20. 51. Acciones correctivas recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Monitorización

- Inspeccionar el funcionamiento de las entradas y salidas para detectar obstrucciones, erosiones y sedimentación	- Inspeccionar el funcionamiento de las entradas y salidas para detectar obstrucciones, erosiones y sedimentación
- Cada inicio de temporada de lluvias	- Cada inicio de temporada de lluvias

Tabla 20. 52. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: CIRIA (2015)

Hoja dejada intencionadamente en blanco

CAPÍTULO 21

Medidas no estructurales

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Las medidas no estructurales no precisan ni una actuación directa sobre la red de drenaje ni la construcción de una infraestructura. Son de carácter preventivo, están enfocadas a prevenir la contaminación del agua antes de que la escorrentía llegue a producirse. Lo que se consigue impidiendo la presencia de elementos contaminantes sobre la superficie urbana en el momento en que comienza la precipitación para que no sean arrastrados hasta las quebradas.

Estas medidas deben ser identificadas e integradas conjuntamente con el drenaje estructural, puesto que de esta manera se puede conseguir optimizar su funcionalidad. Por ejemplo, manteniendo los tragantes limpios se permite una mayor entrada de caudal de escorrentía circulante por la calle.

A pesar de no ser muy efectivas en el control de los volúmenes de escorrentía una vez se han generado, tienen como ventaja su bajo coste.

Hay que tener en cuenta que no todas son idóneas para todos los usos del suelo, no es lo mismo una actuación sobre una zona residencial en la que se generan un tipo determinado de residuos que sobre una zona industrial, caracterizada por generar otro tipo de contaminantes. Por tanto, los programas de limpieza viaria han de adecuarse al tipo de suelo puesto que genera unos contaminantes específicos. Y esto mismo puede aplicarse al resto de los factores como el tipo de educación ambiental a realizar, que depende del público objetivo, etc...

Acciones ciudadanas para la gestión de la escorrentía

La combinación de muchas de las habituales acciones del ciudadano, como la venta ambulante, el lavado en la calle de coches, etc... puede causar problemas de contaminación en las pluviales. Por ello es necesario que los ciudadanos estén concienciados de la importancia de mantener la superficie viaria limpia cualquiera de las actividades que estén realizando.

El estado de las quebradas en el AMSS en relación con la calidad es no es bueno, para evitar que empeore es necesario que los ciudadanos sean conscientes de que pueden mejorar la calidad de sus aguas con pequeñas acciones, como:

Medidas no estructurales

- No depositar basura ni deshechos directamente en las calles cuando se va a producir un evento pluviométrico, para prevenir que el agua de lluvia la arrastre y taponen los tragantes o vayan directos a alguna quebrada.
- Cuidar que los vehículos no tengan fugas y repararlas en caso de que así sea para reducir la presencia de hidrocarburos contaminantes en la superficie viaria antes de las precipitaciones.
- Potenciar el retardo del hidrograma con retenciones en los canales de los tejados con bajantes reducidos Si se permite que se acumule agua en los canalones durante el episodio pluviométrico antes de incorporarla a la red, se retarda su entrada a la red reduciendo el riesgo de que se colapse.

El mantenimiento viario

En los programas de mantenimiento rutinario dentro de las urbanizaciones, áreas comerciales y calles de los municipios son necesarias incluir unas pautas para procurar la eliminación de contaminantes antes de su entrada al caudal de escorrentía como:

- La limpieza de tragantes y rejas de recogida directa de aguas lluvia para evitar que se taponen y se inunden las calles al no poder entrar el agua pluvial.
- La limpieza de calles y parqueos donde se acumulan grandes cantidades de contaminantes que pasarían rápidamente a la red de alcantarillado y, de ahí, al medio natural de no ser retirados a tiempo.

Gestión de la vegetación de parques, jardines y arriates

El arbolado urbano necesita ser podado, pero los restos de poda no deben quedar sobre el suelo, puede acabar taponando alguna vía de salida de agua y/o crear encharcamientos no deseados, además de contaminar las quebradas a su llegada. Con una correcta gestión de los restos de poda y siega se puede evitar aumentar la carga orgánica que supone la llegada de esos elementos a las quebradas.

Tampoco hay que olvidar que el uso de herbicidas y pesticidas tóxicos acarrea consecuencias negativas, pues la lluvia los lava de las hojas y arrastra hasta llegar a un curso natural de agua, contaminándolo.

El desarrollo urbanístico como medida no estructural

Para logra un mejor manejo del agua de escorrentía, se ha de considerar que es parte de la gestión municipal urbana, por lo que ha de integrarse dentro de ésta y ser tenida en cuenta en las fases iniciales del desarrollo urbanístico. Algunas de las formas en las que se puede mejorar el tratamiento de la cantidad y de la calidad de las aguas de escorrentía urbana, son:

Control del planeamiento urbanístico

Los nuevos planes de desarrollo (creación de nuevos centros comerciales, parques industriales, bloques de oficinas o de viviendas) y los de reurbanización deberían tratar de incorporar un sistema integral de la gestión de las aguas de escorrentía urbana siguiendo estos principios:

Cada porción de terreno es parte de una cuenca más grande que ha de tenerse en cuenta en la planificación, ya que una gestión individual de una urbanización puede tener consecuencias negativas en otra situada aguas abajo. Es por ello que la OPAMSS especifica en el art. V.14 Obras para el Control del Ecurrimiento Pluvial de su Reglamento que *“Todo proyecto u ocupación que genere superficies impermeables y que se localice en zonas donde exista falta de capacidad en la infraestructura de drenaje de aguas lluvias, deberá poseer un dispositivo de control del escurrimiento del agua de origen pluvial, tal como los sistemas de detención o retención, que garanticen la condición de Impacto Hidrológico Cero”*

Procurar imitar y utilizar las características y funciones de la escorrentía que se producen en el medio natural, que generalmente está libre de costes y requieren un menor mantenimiento. Ejemplo de ello, en la guía HAUS se especifica al respecto que *“para el trazo de las vialidades, y la ubicación de las edificaciones en el diseño del proyecto, se debe conservar al máximo la vegetación nativa de*

Medidas no estructurales

la zona, las características naturales de escurrimiento y drenaje del agua de lluvia; evitando construir en zonas presentadas en la tabla siguiente”:

Identificación	Características	Uso Recomendable
Zonas inundables	Zonas de valles y depresiones; partes bajas de las montañas; drenes y erosión no controlada; suelo impermeable; vegetación escasa	Zonas de recreación; zonas de preservación; almacenamiento de agua; recargas de acuíferos
Cuerpos de agua	Vegetación variable; suelo impermeable; localización en depresiones	Almacenamiento temporal de agua para riego
Arroyos o quebradas de poca inclinación	Pendiente de 5% a 15%; seco o semi-seco en verano; con inundaciones durante lluvias; vegetación escasa; fauna escasa; susceptibilidad a erosión	Drenaje natural; encauzarlo a lugar adecuado
Zonas de acumulación de agua	Clima húmedo; tierra muy blanda; fauna variada	Conservación natural
Quebradas de fuerte pendiente	Pendientes mayores a 30°; humedad constante; alta erosión	Drenaje natural

Tabla 21. 53. Resumen de propiedades del SUDS. Fuente: Guía HAUS

Los usos previstos en la guía HAUS se corresponden con sistemas de drenaje sostenibles, animando así a su implantación.

Crecimiento controlado de las ciudades

Con objeto de potenciar un crecimiento urbano controlado, la OPAMSS propone en su Estrategia 2 de la Guía HAUS la densificación en altura como medida de crecimiento urbano sostenible. Potenciando las edificaciones en altura se puede ofertar un mayor número de viviendas en un menor espacio, optimizando la cantidad de superficie impermeable por habitante, disminuyendo también el impacto hidrológico asociado a es mayor impermeabilización.

Minimizar las áreas impermeables y reducir la compactación del suelo

Mermendo la cantidad de superficies impermeables que se generan en cada nueva ampliación urbanística, se puede reducir considerablemente el volumen de escorrentía urbana. Un ejemplo de cómo la regulación puede logra esto es el art. V.18 Área Verde: Área Verde en Parcelaciones Habitacionales del Reglamento de OPAMSS se especifica que “Todo propietario de parcelación habitacional, deberá donar al municipio un terreno destinado a área verde .”. Los porcentajes correspondientes son los mostrados en la tabla:

Zonas de Desarrollo Restringido		Área Máxima Construida
Área de Parcela (AP) (M²)	Porcentaje de Área Verde. Calculado en base al área útil %	
500-624	25	25%
625-750	20	
751-1000	10	

Tabla 21. 54. Porcentajes de área verde. Fuente: RLDOT

BIBLIOGRAFÍA MÓDULO 3

- Tragsa (2015). La Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados. Recuperado el 22/02/18 de: <http://www.tragsa.es/es/Lists/Publicaciones/attachments/47/La%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20del%20Agua%20de%20Lluvia%20en%20Entornos%20Edificados%20WEB.pdf>
- Woods, B. B.; Kellagher, R.; Martin, P.; Jefferies, C.; Bray R. & Shaffer, P. 2007. The SUDS manual (C697). Construction Industry Research and Information Association, London. 697p
- Bertule, U. P. M., Lloyd, G. J., Korsgaard, L., & Opperman, T. N. C. J. (n.d.). (2012) Guide for water management. Recuperado el 20/02/2018 de <http://siteresources.worldbank.org/INTLAC/Resources/257803-1351801841279/1PrincipalGestionIntegralAguasUrbanasESP.pdf>
- Web oficial de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2018). Recuperado el 15/02/2018 de <http://www.fao.org/energy/water-food-energy-nexus/es/>
- Bertoni C., C. Gastón Carlos (2005) Dispositivos de Regulación y Control del Drenaje Pluvial Urbano. Informe Final Correspondiente al Contrato de Servicios No. FORGAES-054-2005-SER. Denominación de la consultoría: “Diseño de cinco prototipos de sistemas de infiltración de aguas lluvias para el manejo de la escorrentía superficial en el AMSS”
- Fernández-Lavado, C. (2010). Caracterización de la Inundabilidad en el Área Metropolitana de San Salvador. Recuperado el 20/06/07 de: <http://www.xeologosdelmundu.org/wp-content/uploads/2015/01/Caracterizacion-inundaciones-San-Salvador.pdf>
- Mercadé, L. (2008). Evaluación de las inestabilidades de terreno por asentamientos con urbanización deficitaria en el Área Metropolitana de San Salvador (El Salvador). Tesina UPC. Recuperado el 20/06/07 de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/5911>
- Erazo, A. (2010). Impactos de cambios de uso de suelo en la escorrentía superficial en la cuenca del Arenal Montserrat en la ciudad de San

- Salvador en el periodo 1992-2009. Recuperado el 10/05/2019 de <http://www.snet.gob.sv/estudios/uploads/impactosCambioUsoSuelo.pdf>
- SNET (2003). Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del Arenal de Montserrat. Recuperado el 20/06/07 de: <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/en/contents-%20of-%20this-cd/2-analisis-de-riesgo-arenal-el-salvador.PDF>
 - Ministerio De Agricultura Y Ganadería. Dirección General de Ordenamiento Forestal, Cuencas y Riego. (2002). Especies para ornamentación urbana.
 - COAMSS (2018). Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños con sus anexos.
 - COAMSS-OPAMSS. (2018) Guía HAUS. Hábitats Urbanos Sostenibles del AMSS.
 - MARN (2019). Guía Técnica para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos. Dirección General de Evaluación y Cumplimiento.
 - Cuestas I., Mejía C. (2019). Análisis de la infiltración, escorrentía sub superficial y tendencia direccional del movimiento del agua entre estratos de suelos del AMSS. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil por la Universidad de El Salvador.
 - Norma Técnica Guatemalteca. NTG 41017 h34 (2013). Método de ensayo. Determinación de la tasa de infiltración del concreto permeable colocado. Comisión Guatemalteca de Normas. Ministerio de Economía,
 - Alvarado Batres, César, & Barahona-Palomo, Marco. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. Cuadernos de Investigación UNED, 9(1), 23-33. Recuperado em 20 de julio de 2019, de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662017000100023&lng=pt&lng=es.
 - ISCYC (2015). Diseño, Construcción y Control de Calidad de Pavimentos de Concreto Permeable. Curso.
 - Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (1996). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño. Publicado en el "Diario Oficial" N°35.713, de 11 de Marzo de 1997.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

- Santiago. Recuperado el 19/02/2018 de:
http://www.minvu.cl/opensite_det_20070317115825.aspx
- Department of Water & Swan River Trust. (2007). Structural Controls. Stormwater Management Manual for Western Australia. Perth. 755p. Recuperado el 21/02/2018 de
http://www.water.wa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0020/4772/44217.pdf
 - [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=About the Minnesota Stormwater Manual](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=About_the_Minnesota_Stormwater_Manual)
 - University of Arkansas Community Design Center (2010). Low Impact Development: a design manual for urban áreas. UACDC. Fayetteville, Arkansas. 177p. Recuperado el 19/02/2018 de: www.bwdh2o.org/wp-content/uploads/2012/03/Low_Impact_Development_Manual-2010.pdf
 - Woods Ballard, B, Wilson, Udale-Clarke, H, Illman, S, Scott, T, Ashley, R, Kellagher, R (2015): "The SDSU manual" (CIRIA C753). Construction Industry Research and Information Association, London. 937p.
 - Revitt D.M., Ellis J.B., Scholes L. (Middlesex University) (2003). Criteria Relevant to the Assessment of BMP Performance". DayWater. WP 5 / Task 5.2 / Deliverable N° 5.2. Dissemination Level: PU.
 - AECOM, Atlanta Regional Commission Center for Watershed Protection, Center Forward Georgia Environmental Protection, Division Mandel Design (2016). Georgia Stormwater Management Manual. Recuperado el 19/04/2019 de: <https://atlantaregional.org/natural-resources/water/georgia-stormwater-management-manual/>
 - Charlotte-Mecklenburg Storm Water Services (2010) BMP Design Standards Manual. Recuperado el 30/04/2019 de: <https://charlottenc.gov/StormWater/Regulations/Pages/BMPDesignStandardsManual.aspx>
 - AQUA España (2016). Guía Técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios. Recuperado el 20/04/2019 de: https://www.aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/2016.Guia_tecnica.pluviales.pdf
 - Bárcena A. (2017). Propuesta de diseño de un paquete de tejado verde para un edificio de Barcelona. Trabajo Fin de Máster UPC.
 - <http://www.greenroofguide.co.uk>

- Kent County Council. The Soakaway Design Guide (July 2000). Recuperado el 12/06/2019 de https://www.kent.gov.uk/data/assets/pdf_file/0014/13037/Making-it-Happen-Soakaway-design-guide-July-2000.pdf
- Ayuntamiento de Madrid (2018). Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos. Recuperado el 15/06/2019 de: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Medio-ambiente/Agua/SUDS-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/?vgnextfmt=default&vgnextoid=05ae02fc13557610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnextchannel=63d0e0f6fdc4f510VgnVCM2000001f4a900aRCRD>