

Resumen Ejecutivo de la Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS



COAMSS
OPAMSS

Consejo de Alcaldes y Oficina de Planificación
del Área Metropolitana de San Salvador



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.

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)”.



 **FCAS** Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento

 **BID**
Banco Interamericano de Desarrollo


cooperación española

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1	Depósitos para la recolección de Aguas Lluvias	23
MÓDULO 1. Marco conceptual de los SUDS en el AMSS	1	Funcionamiento	23
La Gestión de las aguas lluvias en el AMSS	1	Componentes básicos	23
Desafíos a los que se enfrenta el AMSS en materia de drenaje para el siglo XXI.....	2	Consideraciones generales en el diseño e instalación	25
Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible	2	Consideraciones generales en el mantenimiento	25
Principales tipos de SUDS.....	1	Techos verdes	26
Problemas que los SUDS pueden ayudar a controlar en el AMSS....	7	Funcionamiento	26
MÓDULO 2. El proceso de diseño de SUDS en el AMSS.....	5	Componentes	26
1. Definición de los objetivos de diseño	7	Tipos	27
2. Fase 1 en el diseño: Caracterización de la zona de proyecto	7	Pozos de infiltración.....	30
3. Fase 2 en el diseño: Creación de un modelo conceptual	7	Funcionamiento	30
4. Fase 3 en el diseño: El proyecto SUDS	8	Componentes	30
5. Informe final de diseño	8	Consideraciones generales en el diseño e instalación	32
Sistemas y materiales	10	Consideraciones generales en el mantenimiento	32
Sistemas de recolección de aguas pluviales.....	10	Zanjas de Infiltración.....	33
Sistemas de superficies permeables.....	11	Funcionamiento	33
Sistemas de almacenamiento.....	12	Componentes	33
Sistemas de infiltración.....	14	Consideraciones generales en el diseño e instalación	34
Sistemas de transporte.....	16	Consideraciones generales en el mantenimiento	34
Sistemas de tratamiento	16	Superficies Permeables	35
Materiales	17	Funcionamiento	35
MÓDULO 3. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.....	21	Componentes	36
Medidas no estructurales	21	Consideraciones generales en el diseño e instalación	37
		Consideraciones generales en el mantenimiento	37
		Lagunas de Infiltración.....	38

Funcionamiento	38	Consideraciones generales en el diseño e instalación	55
Componentes.....	38	Consideraciones generales en el mantenimiento	55
Consideraciones generales en el diseño e instalación.....	39	MÓDULO 4. Diseño de SUDS para el AMSS. Ejemplos	56
Consideraciones generales en el mantenimiento.....	40	Depósito de pluviales	56
Cunetas Verdes.....	41	Pavimento permeable.....	60
Funcionamiento	41	MÓDULO 5. Anexos.....	64
Tipos	42	Dónde solicitar información	66
Consideraciones generales en el diseño e instalación.....	43	Cómo hacer un ensayo de permeabilidad del terreno	66
Consideraciones generales en el mantenimiento.....	43	Secciones tipo	67
Áreas de biorretención	44	Herramientas	67
Funcionamiento	44		
Componentes.....	45		
Consideraciones generales en el diseño e instalación.....	46		
Consideraciones generales en el mantenimiento.....	46		
Franjas Filtrantes.....	47		
Funcionamiento	47		
Consideraciones generales en el diseño e instalación.....	48		
Consideraciones generales en el mantenimiento.....	49		
Depósitos subterráneos de detención.....	50		
Funcionamiento	50		
Tipos	50		
Consideraciones generales en el diseño e instalación.....	52		
Consideraciones generales en el mantenimiento.....	52		
Estanques de Laminación.....	53		
Componentes.....	53		

INTRODUCCIÓN

Este documento es el resumen ejecutivo de la “*Guía Técnica para el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el Área Metropolitana de San Salvador*”. Al igual que ella, y por simplificar, se divide en los mismos diferentes módulos, siendo cada uno de ellos una sinopsis esquematizada de su homólogo en la guía.

El principal objetivo de este resumen ejecutivo es facilitar al usuario un informe con los principales puntos reflejados en la guía de manera que pueda hacerse una idea de las diferentes técnicas de drenaje urbano sostenibles recomendadas para el AMSS y de los pasos a seguir en su diseño.

El origen de la Guía surge de la necesidad de cambio de paradigma en la gestión de las aguas de lluvia en el AMSS. Motivo por el que la División de Agua y Saneamiento del BID está apoyando a través de la cooperación técnica ATN/LA-15861; ES-T1247 la Planificación Estratégica del Sector de Drenaje Pluvial en El Salvador, con la finalidad de reducir los daños a las personas y sus propiedades, ocasionados por la ausencia de una Gestión Integrada de los problemas de drenaje pluvial y control de inundaciones en el país.

La Gestión Integral de Aguas Urbanas supone la integración de todos los componentes del ciclo del agua urbana: abastecimiento, saneamiento, pluviales, etc.... con el desarrollo urbano y la gestión de las cuencas. Y es en el marco de la integración de las aguas de escorrentía con el desarrollo urbano donde se enmarca esta guía.

No haber contado con un ente que diera mantenimiento gestiona y planificara la red de aguas lluvias, junto con el rápido desarrollo urbano ha sido el causante de algunos de los problemas de drenaje que aparecen hoy en día en el AMSS. Por ello OPAMSS, incorporó en proyectos urbanísticos las obras de control de la escorrentía. En el

Reglamento a Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños (RLDOT), se incluye el requerimiento de Obras de Control del Esguerrimiento Pluvial (Art. V.14) se propone el empleo de Sistemas de Detención, con el propósito de captar el flujo superficial y almacenarlo temporalmente para descargarlo durante tiempos más prolongados, disminuyendo los caudales máximos. Además, en el año 2018 se publica desde OPAMSS, la guía de Hábitats Urbanos Sostenibles HAUS, incluyendo dentro de la “Estrategia 4: Manejo y aprovechamiento de agua” una serie de recomendaciones específicas para la gestión sostenible de pluviales.

Estas recomendaciones han servido como punto de partida, junto con la *Planificación Estratégica del Sector de Drenaje Pluvial en El Salvador (PESDPES)* financiado por el BID, para la elaboración de la “*Guía Técnica para el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el Área Metropolitana de San Salvador*”, cuyo objeto es sentar las bases para la implantación de los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) en el Área Metropolitana de San Salvador, estableciendo una metodología para su diseño, dimensionamiento construcción y mantenimiento, que se resumen en este documento.

El principal ámbito de aplicación de las recomendaciones expuestas en este resumen ejecutivo es el Área Metropolitana de San Salvador, formada por 14 municipios: San Salvador, Mejicanos, Delgado, Cuscatancingo, Ayutuxtepeque, San Marcos, Nueva San Salvador, Antiguo Cuscatlán, Soyapango, Ilopango, San Martín, Apopa, Nejapa y Tonacatepeque. Pero su empleo se puede replicar también en otras zonas urbanas del país.

Su uso es tanto a nivel de espacios públicos como privados, lo que no quita que también pueda servir como punto de referencia para la introducción y desarrollo de los SUDS en el resto de los departamentos del país.

MÓDULO 1. Marco conceptual de los SUDS en el AMSS

La Gestión de las aguas lluvias en el AMSS

El drenaje en el AMSS se divide en macrodrenaje (o primario) y microdrenaje (o secundario). El primero se corresponde con las vías principales del agua de escorrentía, que suele ser naturales y que circulan dentro de territorio urbano, es decir con ríos y quebradas. Su gestión se centra en la evacuación de las aguas generadas en cuencas naturales o mixtas (urbanas y naturales) de grandes extensiones para el control de avenidas. El microdrenaje se enfoca en la gestión de la escorrentía urbana dentro de las ciudades, se trata pues de elementos artificiales cuyas dimensiones, características y localización, las establece el hombre con el fin de evitar o reducir el riesgo de inundaciones dentro del municipio y ciudades.

La red de microdrenaje del AMSS data de principios del siglo XX, los colectores más antiguos aún son de tipo unitario, pero el resto es de tipo separativo, es decir, aguas residuales domésticas y lluvia discurren por diferentes conductos. En la segunda mitad del pasado siglo, la red se amplió y se instalaron nuevos colectores para la evacuación de pluviales. Colectores que, en gran parte, están colapsados hidráulicamente y en algunos casos también estructuralmente por tres causas principalmente, el rápido desarrollo urbano (incremento de los caudales para los que fueron diseñados), el cumplimiento de la vida útil de muchas de las infraestructuras y la falta de monitorización y mantenimiento.

Actualmente existen fallas estructurales en la red, producto de su antigüedad, falta de mantenimiento, el empleo de secciones y diseños

inadecuados, taponamiento de colectores por materiales arrastrados y depositados dentro, etc., lo que ha incrementado la recurrencia de las inundaciones en suelo urbano por incapacidad del sistema de microdrenaje.

Además, aparece otro tipo de problema asociado, la contaminación de la escorrentía. Los contaminantes presentes en la superficie de las calles en parte se arrastran y vierten directamente a las quebradas provocando daños en los ecosistemas y contaminando un agua a la que ya no se le puede dar un uso.

Para mejorar la gestión de las aguas lluvias, OPAMSS lleva algunos años proponiendo la implantación de SUDS en las urbanizaciones, parcelaciones y edificaciones de nueva construcción. En total hay más de 100 sistemas de detención identificados de diferente naturaleza funcionando con éxito como los pozos de infiltración de Madreselva o los tubos de detención de Torre Quattro.

Desafíos a los que se enfrenta el AMSS en materia de drenaje para el siglo XXI

Cambio climático

Consecuencias en el AMSS:

- Aumento de temperatura
- Disminución de precipitación media anual
- Aumento de precipitación extrema, las redes de drenaje trabajan con caudales superiores a los de diseño, volviéndolas no operativas o reduciendo su vida útil.

Alta densidad urbana

La densidad urbana en el AMSS ha ido creciendo desde que se instalaran las principales redes de aguas lluvias. Es necesario que el sistema de drenaje realice un correcto servicio para los actuales y futuros habitantes, incorporando nuevos elementos que optimicen el sistema existente de alcantarillado.

Urbanismo: impermeabilización del suelo

Consecuencias en el AMSS:

- Reducción de la infiltración y de la recarga de los acuíferos de abastecimiento del AMSS.
- Aumento de volúmenes y caudales de escorrentía (erosionan y modifican la hidromorfología de quebradas)
- Empeoramiento de la calidad de la escorrentía, que contamina las masas de agua naturales.
- Efecto “*isla de calor*” y disminución de la sensación de bienestar térmico.

Envejecimiento y deterioro de las infraestructuras

El envejecimiento de las redes de drenaje y la falta de un mantenimiento regular componen los principales problemas de la red de microdrenaje, cuyos colectores han visto reducida su capacidad (hay secciones completamente taponadas).

Degradación de la calidad de las masas de agua naturales

Las quebradas del AMSS presentan en su generalidad una pérdida de la calidad del agua, los actuales sistemas de drenaje urbano vierten directamente la escorrentía, tras lavar las basuras depositadas sobre la superficie viaria, a las quebradas, contaminándolas, y a los lagos o ríos donde desembocan. Además de las consecuencias ambientales negativas sobre los ecosistemas, la degradación de calidad del agua limita la cantidad de recurso disponible para consumo humano.

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) se pueden definir como elementos integradores del paisaje y la hidráulica urbana, cuya misión es capturar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar parte de la escorrentía urbana, tratando de reproducir el ciclo natural del agua de la forma más fiel posible. Con esto se consigue reducir el caudal de escorrentía urbana además de la carga de contaminantes arrastrada.

Procuran imitar el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana, para atenuar el impacto que conlleva el desarrollo urbanístico y proveer de espacios con valor social y ambiental a los ciudadanos. Los SUDS engloban un conjunto de técnicas o componentes de diferente naturaleza que, si bien funcionan por sí mismas, para una gestión más efectiva del agua pluvial, deben


considerarse como un conjunto interconectado, diseñado para administrar, tratar y hacer el mejor uso de las aguas de escorrentía superficiales, desde donde cae la lluvia hasta el punto en que se vierte.

La variedad de componentes de los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible que existen actualmente es bastante amplia. Hay diferentes formas de catalogarlos 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...

Se pueden dividir según su principal desempeño, aunque conviene aclarar que en una misma técnica pueden darse más de un proceso.

Tipos de sistemas	Proceso	Ejemplos de SUDS
Recolección de lluvia	Capturan el agua de lluvia y facilitan su uso	Barriles de aguas lluvias, aljibes.
Superficies permeables:	El agua percola a su través, lo que reduce la porción de escorrentía que se transporta al sistema de drenaje	Gramoquín, concreto permeable, gravas, ...
Infiltración:	Facilitan la infiltración de agua en el subsuelo, reduciendo el volumen de escorrentía.	Pozos de infiltración, zanjas de infiltración, lagunas de infiltración
Transporte:	Conducen el flujo de agua de un sistema a otro (por ejemplo, de almacenamiento a infiltración o de suelo impermeable a un almacenamiento).	Cunetas verdes, franjas filtrantes, ...
Almacenamiento:	Se acumula la escorrentía en un punto o elemento controlado para después laminar el caudal de salida o facilitar su infiltración.	Lagunas de laminación, depósitos subterráneos de detención, ...
Tratamiento:	Eliminan o facilitan la degradación de contaminantes presentes en la escorrentía. El principal tratamiento es la filtración, aunque pueden darse otros como la bioacumulación o sedimentación.	Áreas de biorretención, franjas filtrantes

Principales tipos de SUDS


SUDS	Descripción	Ejemplo
<p>Cubiertas verdes</p>	<p>Sistemas multicapa, con vegetación que se localizan en las cubiertas de edificios.</p>	 <p>Fuente: https://www.geograph.org.uk/photo/544737</p>
<p>Superficies permeables</p>	<p>Superficies de diferente naturaleza que permiten que el agua de lluvia y la escorrentía pasen a su través, infiltrándose en el suelo o reteniéndose capas subsuperficiales.</p>	 <p>Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Permeable_Pavement_(15456488240).jpg</p>

SUDS	Descripción	Ejemplo
<p>Depósitos de lluvia</p>	<p>Son depósitos que se emplean para recolectar y almacenar el agua de lluvia antes de darle un uso (limpieza, riego de jardines...)</p>	 <p>Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rain_Barrel_(15455931038).jpg</p>
<p>Pozos de infiltración</p>	<p>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.</p>	 <p>Fuente: https://www.geograph.org.uk/photo/3727434</p>

SUDS	Descripción	Ejemplo
<p>Zanjas de infiltración</p>	<p>Excavaciones poco profundas y alargadas rellenas de gravas o celdas plásticas, que crean un almacenamiento subterráneo temporal para la infiltración de la escorrentía.</p>	 <p>Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Percolation_trench.jpg</p>
<p>Estanques de infiltración</p>	<p>Depresiones en el terreno de forma irregular y cubiertas de vegetación que almacenan e infiltran gradualmente la escorrentía generada en las superficies adyacentes.</p>	 <p>Fuente: https://www.flickr.com/photos/massdot/29856364125</p>

SUDS	Descripción	Ejemplo
<p>Áreas de biorretención</p>	<p>Áreas vegetadas, algo deprimidas, con un suelo modificado para favorecer la filtración y, en muchos casos, la infiltración de la escorrentía en el terreno.</p>	 <p>Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bioretention_system,_or_rain_garden,_in_Portland,_US.jpg</p>
<p>Cunetas verdes</p>	<p>Son canales amplios, poco profundos y con poca pendiente. Tienen vegetación y la escorrentía circula lentamente por ellos.</p>	 <p>Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grass_lined_channel_NRCS.jpg</p>

SUDS	Descripción	Ejemplo
<p>Franjas filtrantes</p>	<p>Áreas uniformes de pendiente suave cubiertas de un denso césped o hierba por el que circula la escorrentía en lámina por la superficie.</p>	 <p>Fuente: https://www.pinterest.es/pin/359654720216158817/?lp=true</p>
<p>Depósitos subterráneos de detención</p>	<p>Son depósitos que almacenan temporalmente la escorrentía generada aguas arriba, laminando los caudales punta y atenuando los picos de caudal.</p>	 <p>Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parking_lot_stormwater_detention_system.jpg</p>

SUDS	Descripción	Ejemplo
Estanques de laminación	<p>Son lagunas artificiales que pueden permitir el crecimiento de flora y fauna preparadas para acumular y laminar el agua de escorrentía de una zona amplia.</p>	 <p>Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dry_pond.jpg</p>
Medidas no estructurales	<p>Aquellas medidas que no precisan ni una actuación directa sobre la red de drenaje ni la construcción de una infraestructura. Son de carácter preventivo.</p>	

Problemas que los SUDS pueden ayudar a controlar en el AMSS

El Área Metropolitana de San Salvador presenta una problemática compleja en relación con el drenaje urbano. El rápido crecimiento urbano, el estado de la red de microdrenaje son dos de los factores más importantes (aunque no los únicos) que han derivado en problemas como inundaciones urbanas o degradación de las quebradas.

Aplicando los beneficios que proporcionan los SUDS, estos problemas se pueden solucionar o paliar. Incluso también pueden ayudar a mitigar otros no tan relacionados con la gestión de las aguas lluvias como puede ser la incorporación de nuevos espacios verdes o la reducción de los efectos de la “*isla de calor urbana*”.

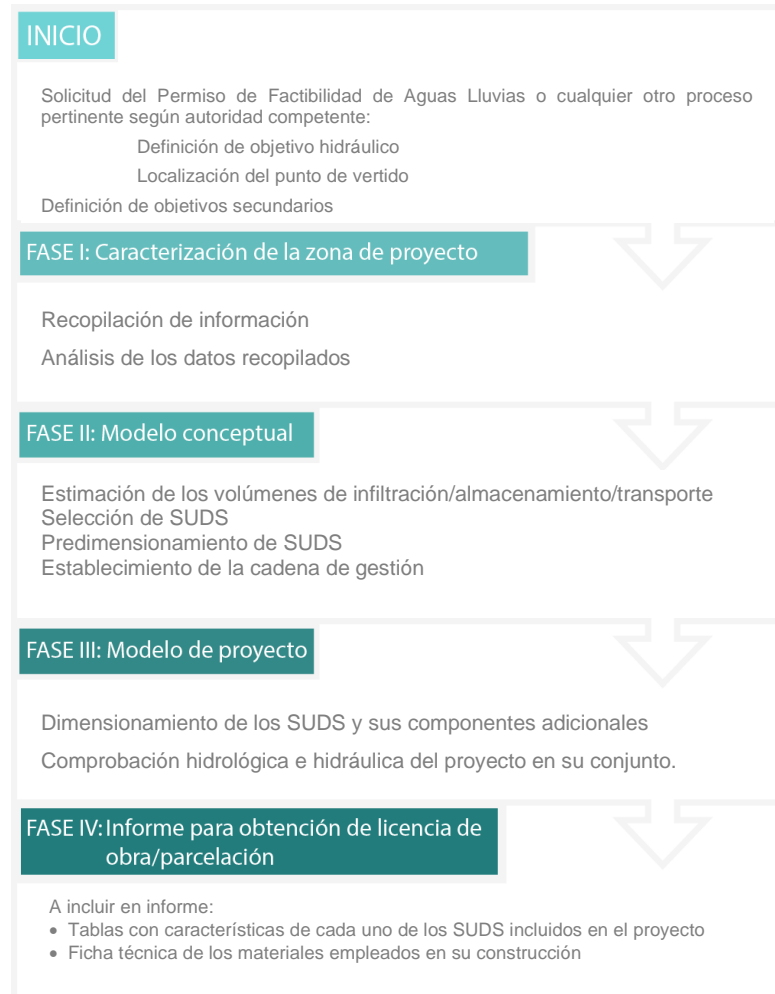
Problemas que los SUDS pueden ayudar a controlar en el AMSS	Beneficio de los SUDS	Soluciones que aportan los SUDS
La frecuencia de las inundaciones provocadas por la incapacidad del sistema.	Reducción de los volúmenes de escorrentía y los caudales pico	Con su implantación se reducen los caudales que entran en la red existente de microdrenaje, disminuyendo el riesgo de que entren en carga y salga el agua por los tragantes.
La erosión de los cauces receptores de las aguas de escorrentía urbana.	Las aguas lluvia se infiltran por lo que se reduce la escorrentía o se almacena (si es en lámina al aire libre y/o hay vegetación puede haber pérdidas por evapotranspiración) y transporta lentamente generando caudales pico más bajos.	Caudales más bajos y con menos velocidad producen una menor erosión en cauces que la escorrentía que sale por los puntos de desfogue de la red de drenaje.
Los sobrecostos en la construcción de infraestructuras protectoras aguas abajo		Al disminuir los caudales a gestionar, no se requieren construir infraestructuras grises más costosas.

Problemas que los SUDS pueden ayudar a controlar en el AMSS	Beneficio de los SUDS	Soluciones que aportan los SUDS
Las descargas de agua contaminada directamente a quebrada.	<p><u>Retención de contaminantes</u></p> <p>La escorrentía urbana lleva inmersa una gran cantidad de contaminantes de diversa naturaleza y procedencia, que se depositan en el suelo viario en tiempo seco (período entre lluvias) y se lavan con la lluvia. En la mayoría de los SUDS se produce como mínimo un tratamiento de la escorrentía. Las partículas arrastradas contaminantes pueden ser absorbidas por la vegetación de algunas técnicas, o filtradas y/o sedimentadas en otras.</p>	Al pasar la escorrentía por los SUDS antes de ser vertida a la quebrada, reduce su carga contaminante y ayuda a no incrementar el mal estado de la misma y diluir la concentración de las partículas en suspensión que lleva.
La degradación de medios naturales y urbanos.	<p><u>Proporcionar un medio ambiente urbano saludable y confortable</u></p> <p>En muchos casos retienen el agua en el medio lo que suaviza la temperatura y aumenta la sensación de bienestar térmico.</p>	<p>Los medios se vuelven más saludables por la reducción de contaminantes presentes.</p> <p>Los SUDS que llevan vegetación mejoran la calidad de vida donde se implantan, pueden servir de espacio lúdico o deportivo.</p> <p>Algunas estrategias para mitigar los efectos del cambio climático asociados a las altas temperaturas urbanas comprenden SUDS que almacenen agua in situ, que tengan vegetación que den sombra o que aumenten la evapotranspiración, lo que enfría el microclima urbano.</p>
El efecto "isla de calor". La mayor parte del suelo del AMSS está sellada, no hay poros que contengan agua, lo que unido al bajo albedo de la superficie urbana provoca que la temperatura esté por encima de la media de las zonas boscosas adyacentes y la sensación térmica sea más calurosa.		

Problemas que los SUDS pueden ayudar a controlar en el AMSS	Beneficio de los SUDS	Soluciones que aportan los SUDS
<p>La falta de pequeñas zonas verdes en los núcleos urbanos de los diferentes municipios.</p>	<p><u>Mejora paisajística</u> Muchos SUDS se asemejan a arriates o jardines, por lo que cumplen con una doble función, gestión de las aguas lluvias y estética.</p>	<p>Reconvirtiendo los actuales arriates degradados sin vegetación en SUDS vegetados, además de la gestión de la escorrentía, se reverdecen las aceras.</p>
<p>Control de la escasez de agua en época de sequía</p>	<p><u>Una nueva fuente para el recurso agua</u> Mediante la recolección de aguas pluviales procedentes de las cubiertas de edificios públicos y/o privados, se obtiene agua a la que puede darse diversos usos, como la limpieza de vías y aceras o el riego de parques y jardines. Al recogerse y tratarse “in situ” esta agua, se ahorran costes de abastecimiento y se dispone de un almacenamiento para la época seca.</p>	<p>Actualmente, ya se están construyendo algunos proyectos en San Salvador con sistemas de reuso de aguas lluvias, de los cuales al menos uno de ellos cuenta con un sistema de pretratamiento. Pero teniendo en cuenta que es una forma de acceder a un recurso que a veces es escaso, su incorporación puede suponer una ventaja en el desarrollo urbano.</p>

Hoja dejada intencionadamente en blanco

MÓDULO 2. El proceso de diseño de SUDS en el AMSS



En este Módulo se explican los pasos a seguir en el diseño de un SUDS o de una cadena de gestión de drenaje.

La cadena de gestión utiliza una secuencia lógica de técnicas de drenaje urbano sostenible que permite que la escorrentía pase a través de varias estructuras, donde es tratada antes de llegar a la masa de agua receptora. De esta manera se consigue reducir la contaminación, el caudal pico y los volúmenes de escorrentía.

Al igual que en una cuenca natural, las técnicas sostenibles de drenaje urbano pueden emplearse en serie para cambiar las características de la escorrentía, ajustándolas a cómo serían en una etapa de pre-desarrollo urbanístico.

Los eslabones que componen una cadena de gestión son, por orden:

Prevención

Aplicación de medidas no estructurales, como una planificación y diseño adecuados, en el que prevalezca el suelo permeable frente al impermeable.

Control en origen

Control de la escorrentía en el mismo lugar donde se origina o en sus inmediaciones. Las técnicas de drenaje urbano sostenible a emplear en viviendas unifamiliares, casas con patios o edificios de viviendas (construcciones inferiores a los 500 m²) son de control en origen.

Control local

Control de la escorrentía generada en una calle o espacio urbano que no superan las 2 ha. Se emplean técnicas con capacidad suficiente para gestionar los volúmenes de aguas lluvias de zonas adyacentes impermeables.

Control regional

Gestión de la escorrentía de áreas superiores a las 2 ha., como urbanizaciones, condominios. Las técnicas que se emplean tienen capacidad para gestionar grandes volúmenes.

En la gestión sostenible de la escorrentía, siempre que sea posible, lo primero será implantar medidas preventivas. Si no fuesen suficientes o efectivas (se produce escorrentía o lleva contaminación) se pasará al control en origen (medidas que tratan de evitar la generación de la escorrentía), y así consecutivamente con el resto de los eslabones.

Puesto que en cada nivel de control se acumula el agua de una extensión cada vez mayor, por motivos de seguridad y atendiendo a la normativa vigente, los periodos de retorno con los que se calculan caudales y volúmenes se incrementan.

CONTROL EN ORIGEN

Gestión de aguas lluvias donde cae
 Áreas pequeñas: techos, patios de casas, parqueos
 Tr= 5 años si el excedente de escorrentía (hasta Tr= 10 años) pasa a control local
 Tr= 10 años si no forma parte de una cadena de gestión

- TÉCNICAS
- Techos verdes
 - Superficies permeables
 - Depósitos de detención
 - Recolección y reuso de lluvia
 - Pozos y zanjas de infiltración
 - Pequeños sistemas de biorretención



CONTROL LOCAL

Tr= 10 años /Tr=20 años Gestión de la escorrentía a nivel de calle pequeña urbanización/ condominio

- TÉCNICAS
- Cunetas verdes
 - Depósitos de detención
 - Recolección y reuso de lluvia
 - Sistemas de biorretención
 - Estanques de laminación



HASTA APROX. DOS HECTÁREAS

CONTROL REGIONAL

Gestión de la escorrentía a nivel de condominio o lotificación

Tr= 10 años /Tr=25 años

MÁS DE DOS HECTÁREAS

- TÉCNICAS
- ESTANQUES DE LAMINACIÓN
 - DEPÓSITOS DE DETENCIÓN



1. Definición de los objetivos de diseño

El objetivo principal de diseño será que el proyecto tras su ejecución no sobrepase los valores de escorrentía máximos que OPAMSS o la entidad competente haya determinado. Aunque también puede haber otros como la obtención de agua de lluvia para su posterior uso o la generación de nuevos espacios verdes.

2. Fase 1 en el diseño: Caracterización de la zona de proyecto

Esta fase consiste en la recopilación y tratamiento de la información necesaria para decidir qué técnicas son las más adecuadas instalar. El volumen de datos a tratar será diferente según se trate de un proyecto pequeño, como la remodelación de un edificio o la construcción de una vivienda, en el que las técnicas a emplear son de control en origen, o de un proyecto de mayor envergadura, como la construcción de un condominio, que requiere de técnicas de control local y/o regional para tratar la escorrentía.

Datos mínimos para intervenciones en áreas <500 m²

- Pluviometría
- Planos catastral y constructivos
- Ensayos de permeabilidad (si se va a realizar la infiltración)
- Normativa y legislación que aplique

Análisis a realizar

Cálculo de caudales/volúmenes (almacenamiento y/o infiltración)
 Evaluar que se respetan colindancias vecinales y la presencia de taludes cerca de la zona de estudio

Datos mínimos para intervenciones en áreas >500 m²

- Topografía
- Planos catastral y constructivos
- Hidrología/hidrogeología de la zona
- Geología y usos del suelo
- Ensayos de permeabilidad y geotécnicos realizados por un laboratorio competente
- Datos pluviométricos
- Especies vegetales
- Normativa y legislación que aplique

Análisis a realizar

Cálculo de caudales/volúmenes (almacenamiento, transporte y/o infiltración)
 Evaluar que se respetan colindancias vecinales y la presencia de taludes cerca de la zona de estudio
 Identificar zonas de riesgo de inundaciones o deslizamientos

3. Fase 2 en el diseño: Creación de un modelo conceptual

Conocidos los caudales y volúmenes a gestionar y las limitaciones del espacio, se procede a determinar:

- Si se va a captar el agua de lluvia para su posterior uso y qué cantidad.
- Si algún punto del terreno permite la infiltración segura: la conductividad hidráulica del suelo es superior a 13 mm/h, no hay peligro de producir afloramientos de las aguas infiltradas y no hay riesgo de deslizamiento de laderas. Y qué volumen se puede infiltrar en menos de 24 horas.

- Qué volúmenes se van a almacenar para su laminación (aquellos que permitan una salida de caudal no superior al definido en el objetivo de diseño)
- Cómo se va a trasladar la escorrentía de un punto a otro dentro de la zona de proyecto
- La cadena de gestión de las aguas lluvias según la envergadura de proyecto, con el tipo de sistema de drenaje urbano sostenible establecido (superficies permeables, almacenamiento, infiltración, etc.)

Tras la creación la cadena de drenaje, es conveniente revisarla. En el diseño y selección de un conjunto de SUDS, no hay una solución única, se pueden escoger entre diferentes sistemas con un mismo resultado final, pero es conveniente optimizar la selección de los sistemas de drenaje con objeto de reducir las obras a ejecutar y los costes de construcción y mantenimiento e incrementar el valor paisajístico de la urbanización.

Es recomendable establecer como prioritarios los sistemas de gestión que actúan aguas arriba frente a los que los hacen aguas abajo. Las aguas pluviales deben ser tratadas en su origen siempre que es posible y solamente los caudales más altos se deben pasar hacia las aguas abajo. También es aconsejable aprovechar aquellos elementos ya existentes que puedan servir como almacenamiento como por ejemplo espacios públicos abiertos, parqueos, ... o transporte de la escorrentía, por ejemplo, cauces o vaguadas o tramos existentes de una red de drenaje ya construida.

4. Fase 3 en el diseño: El proyecto SUDS

Definidos los caudales a gestionar, las rutas que seguirá la escorrentía, los puntos de vertido, los volúmenes a retener y/o infiltrar en cada localización y seleccionados los sistemas que se emplearán para ello se

procede al diseño y dimensionamiento de cada una de las técnicas a instalar. Los pasos a seguir se resumen en:

- Paso 1: Comprobación hidrológica e hidráulica de cada sistema propuesto considerando los requerimientos a la entrada y a la salida de cada uno de ellos.
- Paso 2: Seleccionados los materiales a emplear y sus dimensiones, comprobación del correcto desempeño hidráulico (que las capacidades son suficientes para gestionar los volúmenes y caudales de diseño).
- Paso 3: Verificación final del modelo completo mediante la creación de un modelo de simulación para comprobar el funcionamiento de la cadena en su conjunto. En caso de obras de pequeña envergadura, sólo hay técnicas de control en origen por lo que no es necesario realizar este paso, aunque puede hacerse para mayor seguridad en los cálculos.

5. Informe final de diseño

Puesto que el empleo de estas técnicas son una solución a los requerimientos necesarios para la obtención de permisos de construcción y parcelación, dentro del informe que se entrega a OPAMSS para la Factibilidad de aguas lluvias (y en el caso de haber solicitado el distintivo HAUS, para su obtención) se recomienda incluir:

- Una ficha técnica de cada SUDS contenido en el proyecto con los datos de su funcionamiento, como las que se muestran de ejemplo en Módulo V. Anexos.
- Las especificaciones técnicas de los materiales a emplear en la construcción de las técnicas de drenaje sostenible.

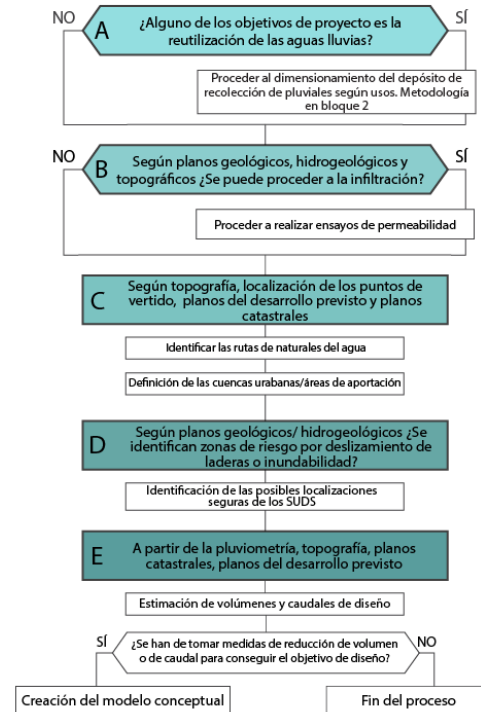
Para facilitar la identificación de la documentación a presentar se proponen las hojas de control mostradas en los Anexos.

1 RECOPIACIÓN DE DATOS

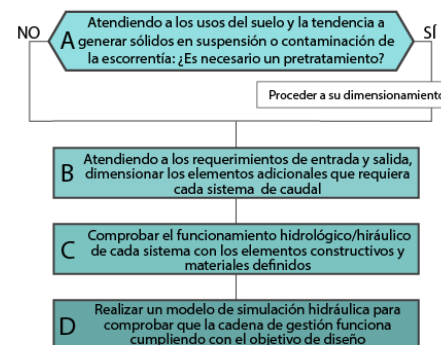
En función del alcance del proyecto

- Puntos de vertido
- Mapas geológicos
- Planos de usos del suelo
- Caudales de vertido
- Precipitación
- Planos hidrogeológicos
- Topografía
- Planos catastrales
- Especies / biodiversidad

2 ANÁLISIS DE DATOS

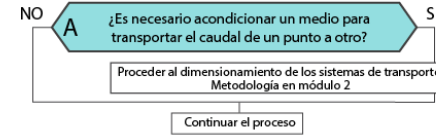


4 CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECTO

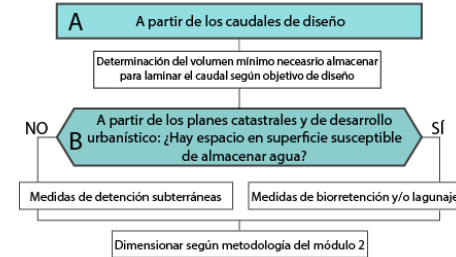


3 CREACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

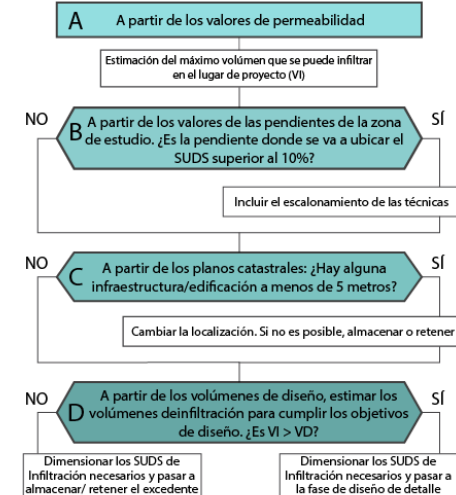
CONDUCCIÓN



ALMACENAMIENTO/RETENCIÓN



INFILTRACIÓN



5 ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL PARA LA OBTENCIÓN DEL PERMISO DE CONSTRUCCIÓN Y/O PARCELACIÓN

Al informe de proyecto final realizado para la obtención de los permisos de parcelación y/o construcción habrá que añadir:

- Fichas descriptivas de cada uno de los SUDS incluidos en el proyecto
- Fichas técnicas de los materiales empleados en la construcción de los SUDS

Sistemas y materiales

Sistemas de recolección de aguas pluviales

Son sistemas que capturan el agua de lluvia y facilitan su uso dentro de un edificio o el entorno local. Pueden ser de diferentes tipos, tamaños y formas y presentan diferentes niveles de complejidad según el uso que se vaya a hacer del agua y de la tecnología disponible.

El dimensionamiento no se realiza como los de un elemento de drenaje porque su finalidad es la acumulación de la mayor cantidad de agua para su posterior uso.

Los 3 principales factores que determinan el tamaño de este tipo de sistemas son: la superficie disponible de captación de lluvia, la demanda de agua a satisfacer y la precipitación media de la zona, a los que hay que añadir las limitaciones espaciales y económicas y, en el caso del AMSS, la temporalidad de las precipitaciones.

Una metodología simplificada de apreciación del volumen requerido es:

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

$$\text{Volumen de recolección: } Vol = A \times P \times C$$

- 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
2. Estimar el gasto anual de aguas lluvias, 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:

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

Si ocurre al contrario, entonces se dimensionará el sistema para las necesidades de uso y el excedente se enviará a otro sistema de gestión.

A partir de los días que transcurren entre lluvias, determinar el volumen del depósito:

$$\frac{\text{Volumen anual a emplear} \times \text{Días que transcurren entre lluvias}}{365}$$

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:

- 1- 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.
- 2- La estacionalidad de las precipitaciones; las precipitaciones no se reparten con regularidad se concentran en medio año y luego hay seis meses de estiaje.

Materiales que pueden emplearse:

- Celdas plásticas con láminas impermeabilizantes
- Barriles de madera tratada
- Tanques plásticos
- Depósitos de concreto

Sistemas de superficies permeables

Son un conjunto heterogéneo de superficies que permiten el paso del agua a su través.

A la hora de realizar el diseño habrá que tener en cuenta las diferentes características de cada una de ellas antes de proceder a su comprobación hidráulica, ya que sus capacidades permeables varían. Pero en todos los casos la conductividad hidráulica ha de ser alta, como por ejemplo la de uno de los asfaltos permeables que se comercializan en El Salvador es superior al 80 l/(min*m2).

El diseño de este tipo de elementos se divide en dos, la parte estructural (no es objeto de la Guía) y la hidráulica, para lo que se necesita saber la conductividad hidráulica, la porosidad de la superficie, el porcentaje de área impermeable (cuando se trata de superficies permeables discontinuas o modulares), la relación de vacíos y la pendiente.

Por muy permeable que sea la superficie, si se sitúa en un medio de pendiente superior al 5% (aparte de los problemas estructurales que puedan surgir), será difícil que percole el agua porque escurrirá rápidamente. En esos casos se recomienda reducir la pendiente hasta un máximo del 2% y según el caso se podrá propiciar el almacenamiento sobre dicha superficie con bordillos que impidan la rápida salida de la escorrentía.

Materiales que pueden emplearse:

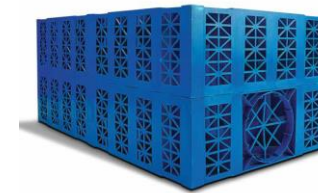
- Gravas
- Gramoquín
- Concreto permeable
- Adoquines con juntas separadas,
- Etc.

Aunque en el seno de la misma superficie se pudiera acumular agua, el almacenamiento queda relegado a las capas inferiores que se localizan

específicamente para ello por varios motivos, a nivel estructural e hidráulico.

Por lo que, al emplear una capa de almacenamiento se tendrán que utilizar materiales que permiten la acumulación segura del volumen de escorrentía a gestionar:

- Geotextil
- Celdas plásticas de almacenamiento
- Gravas o material pétreo
- Geolámina (en caso de que no se pueda producir infiltración)



Celda plástica. Fuente: Amanco

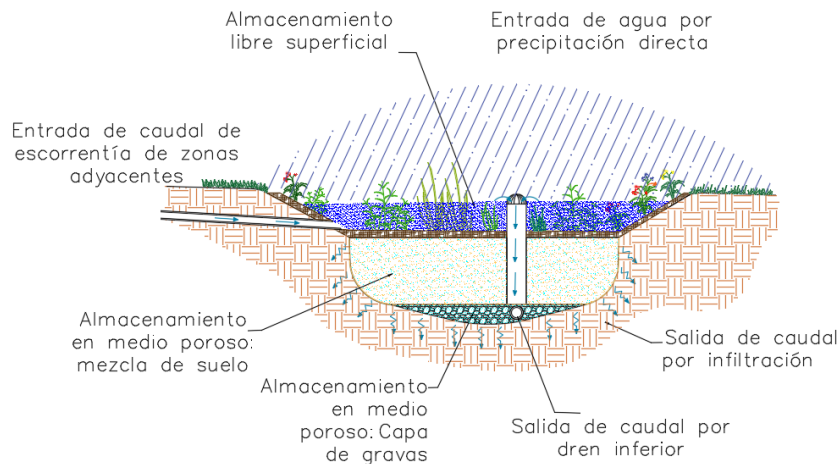


Instalación de celdas plásticas. Fuente: Durman

Sistemas de almacenamiento

Aportan un volumen donde se almacena el agua de escorrentía para su posterior salida, que puede ser por infiltración o mediante un elemento de desfogue. La tipología de estos sistemas es muy amplia, según su localización pueden ser: superficiales, subterráneos o una combinación; según la forma de almacenamiento, un espacio hueco, una matriz porosa o ambos simultáneamente; por último, decir que además se pueden diseñar de muchas formas y tamaños según los requerimientos de control de escorrentía.

Dentro de una misma técnica puede haber más de un tipo de almacenamiento, como ocurre en la imagen. Se trata de un área de biorretención en la que se acumula agua sobre la superficie, en los poros de la mezcla de suelo y en los poros de la capa de gravas.



Para dimensionar el volumen de almacenamiento hay que conocer los caudales de entrada al sistema:

- Por precipitación directa sobre el mismo sistema
- Los caudales procedentes de zonas impermeables adyacentes

Y los caudales de salida:

- Por infiltración en el subsuelo (en caso de poder producirse)
- Caudales de salida por drenes, orificios o cualquier otro elemento. Estos caudales generalmente vienen determinados por OPAMSS (o la entidad competente en la concesión de permisos)

Puesto que estos elementos se diseñan para laminar, el caudal de salida es inferior al de entrada, por lo que el volumen de almacenamiento ha de ser como mínimo la diferencia entre los volúmenes entrantes y salientes en un momento dado:

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

Variación del volumen acumulado en función 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, que viene fijado en la Factibilidad de aguas lluvias

En caso de que el almacenamiento se de en una matriz porosa, como por ejemplo en un lecho de gravas, hay que comprobar que el vaciado del sistema se produce en menos de 24 horas para poder volver a llenarse en la tormenta siguiente.

SUDS donde se produce almacenamiento:

	Superficial	Subterráneo
Salida por infiltración	<ul style="list-style-type: none"> - Lagunas de infiltración - Área de biorretención - Bajo superficies permeables 	<ul style="list-style-type: none"> - Pozos de infiltración - Zanjas de infiltración
Salida por colector	<ul style="list-style-type: none"> - Estanques de laminación - Área de biorretención - Bajo superficies permeables 	<ul style="list-style-type: none"> - Depósitos subterráneos de detención

Materiales que pueden emplearse:

	Almacenamiento Superficial	Almacenamiento Subterráneo
Con infiltración	<ul style="list-style-type: none"> - Geotextil - Mezcla porosa de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> - Geotextil - Gravas o material pétreo poroso - Celdas plásticas
Sin infiltración	<ul style="list-style-type: none"> - Geolámina - Elementos constructivos de infraestructura gris (concreto, losas,...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Geolámina - Gravas o material pétreo poroso - Celdas plásticas

Sistemas de infiltración

Son aquellos que facilitan la entrada de las aguas lluvias en el subsuelo, reduciendo el volumen de precipitación que acaba convirtiéndose en escorrentía. Para ello, se almacena el agua de lluvia y se va infiltrando en las horas posteriores a la tormenta. En el diseño de los sistemas de infiltración hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

Volumen de aguas lluvias a tratar (V_E): Es el volumen de agua generado por una superficie de aportación determinada para $T_r=5$ o 10 años (5 si es una técnica dentro de una cadena de gestión y 10 si no lo es) y duración 1 hora, más el precipitado directamente sobre el sistema (si está a cielo abierto).

Permeabilidad del suelo (K , m/h): Es la velocidad con la que el agua se infiltra en el suelo, el valor mínimo del suelo donde se va a realizar la infiltración es de 13-15 mm/h.

Factor de seguridad C_s que considera las posibles colmataciones del suelo por la deposición de las partículas arrastradas por la escorrentía.

Caudal entrante de buena calidad	Con pretratamiento y mantenimiento	1
	Con pretratamiento, pero sin mantenimiento	0,75
	Sin pretratamiento, pero con mantenimiento	0,75
	Sin pretratamiento ni mantenimiento	0,5
Caudal entrante de mala calidad	Con pretratamiento y mantenimiento	0,5
	Con pretratamiento, pero sin mantenimiento	0,33
	Sin pretratamiento	0

Valores del factor de seguridad. Fuente: Adaptación MINVU

Volumen de infiltración (V_I): Es el volumen de agua que puede infiltrarse en el subsuelo. Una forma sencilla de estimarlo es mediante la ecuación:

$$V_I(t) = C_s \cdot K \cdot A_I \cdot T$$

C_s Factor de seguridad

K es la permeabilidad del suelo (m/h)

A_I es el área total de infiltración del sistema en metros cuadrados.

T es el tiempo durante el cual el agua estará saliendo desde el sistema de infiltración hacia el subsuelo, puesto que en época lluviosa las precipitaciones son muy seguidas y frecuentes, se estimará un máximo de 24 horas, de manera que el sistema pueda quedar vacío de un día para otro.

Volumen de almacenamiento útil (V_A): Es el volumen disponible en el sistema, se puede estimar como la máxima diferencia entre el volumen de escorrentía (V_E) y el volumen acumulado infiltrado (V_I), ambos en función del tiempo, pero en esta guía se recomienda que el volumen de almacenamiento sea igual al de escorrentía por la torrencialidad de las precipitaciones en el AMSS. Las lluvias aquí se caracterizan por ser muy intensas, de manera que en poco tiempo cae un volumen que necesita mucho más tiempo para infiltrarse en el suelo. Por lo que se puede considerar que $V_A = V_E$

El punto de partida del diseño es comprobar que $V_I > V_A$. Si no es así, sólo se podrá infiltrar un volumen igual a V_I y la diferencia $V_I - V_A$ habrá que conducirla de forma segura hacia otro sistema o hacia otra localización donde se pueda infiltrar.

Volumen de almacenamiento total (V_T , m³): Es el volumen total del sistema. En los sistemas de infiltración superficiales, es decir aquellos que el agua se almacena sobre la superficie (como los estanques de infiltración) el volumen útil se corresponde con el total. En los sistemas de infiltración subterráneos el volumen total será el V_A dividido por la porosidad del sistema (valor que oscila entre el 0,3/0,4 si el sistema contiene gravas o 0,9 si está formado por celdas plásticas).

SUDS donde se puede producir infiltración:

	Superficial	Subterráneo
Salida por infiltración	<ul style="list-style-type: none"> - Lagunas de infiltración - Área de biorretención - Superficies permeables - Cunetas verdes - Franjas filtrantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Pozos de infiltración - Zanjas de infiltración

Materiales que pueden emplearse:

	SUDS Superficiales	SUDS Subterráneos
Con infiltración	<ul style="list-style-type: none"> - Geotextil - Mezcla porosa de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> - Geotextil - Gravas o material pétreo poroso - Celdas plásticas

Sistemas de transporte

El agua se puede trasladar de un sistema a otro por conducciones de las denominadas “tradicionales” como las tuberías, cordones cunetas o canalizaciones y también por sistemas “verdes” como las cunetas verdes o las franjas filtrantes.

Su dimensionamiento hidráulico puede realizarse de forma sencilla empleando la ecuación de Manning a partir del caudal a transportar que será la suma del caudal que sale de un sistema previo más el que pueda entrar directamente a él desde zonas adyacentes. Conocidos los caudales a transportar se dimensionarán estos sistemas procurando siempre que la velocidad del flujo sea lo suficientemente baja como para que se puedan precipitar los sedimentos que queden en la escorrentía.

SUDS que actúan como sistemas de transporte:

Con y sin infiltración	SUDS
	<ul style="list-style-type: none"> - Cunetas verdes - Franjas filtrantes

Materiales que pueden emplearse:

	Con infiltración	Sin infiltración
Con infiltración	<ul style="list-style-type: none"> - Geotextil - Mezcla porosa de suelo - Gravas o material pétreo poroso (cunetas verdes) - Celdas plásticas (cunetas verdes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Geolámina - Gravas o material pétreo poroso (cunetas verdes) - Celdas plásticas (cunetas verdes)

Sistemas de tratamiento

Una de las cualidades más importantes de los SUDS, y esencial diferencia con los sistemas de drenaje urbano convencionales, es su capacidad de retener y/o eliminar elementos contaminantes de las aguas de escorrentía urbana gracias a una compleja combinación entre agentes biológicos, químicos y físicos.

A continuación, se muestra una tabla con las capacidades de remoción de los principales contaminantes del agua de escorrentía en cada una de las técnicas.

SUDS	Contaminantes						
	Sedimentos	Nutrientes	Basura	Metales	Bacterias	Aceites y grasas	Materia orgánica
Áreas biorretención	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Cubiertas verdes	Alta	Media	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Cunetas verdes	Media	Baja	Baja	Media	Baja	Media	Media
Depósitos subterráneos de detención	Media	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
Depósitos recolección y reuso de aguas lluvia	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Lagunas de infiltración	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Estanques de laminación	Media	Baja	Alta	Media	Media	Media	Media
Franjas Filtrantes	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Alta	Media
Pozos de	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

SUDS	Contaminantes						
	Sedimentos	Nutrientes	Basura	Metales	Bacterias	Aceites y grasas	Materia orgánica
infiltración							
Superficies permeables	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Zanjas de infiltración	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Fuente: Adaptación de Daywater, CIRIA C-697 y Georgia Stormwater Manual

Materiales

En la ejecución de SUDS se pueden emplear diferentes tipos de materiales, siempre y cuando cumplan con unos estándares mínimos de calidad.

Los elementos más típicos empleados en la construcción de este tipo de sistemas son:

Suelo

La mezcla de suelo a emplearse en los sistemas de biorretención ha de permitir que el agua drene fácilmente y permita el crecimiento radicular de las especies vegetales.

Su porosidad deberá estar en torno al 30% y la conductividad hidráulica saturada debe estar entre 100 mm/h y 300 mm/h (debería comprobarse antes de la instalación). El margen de pH aceptable del suelo estaría entre 5,5 y 8,5 y la conductividad eléctrica (relativa a salinidad) inferior a 3300 µS/cm.

Como composición por tamaños, los márgenes en los que deberían encontrarse cada tipo de partículas testados según la norma ASTM D22 serían:

Tamaño partículas	% aceptable pasando por peso	
	Mínimo	Máximo
50 (mm)	100	100
4,75 (mm)	98	100
2,36 (mm)	95	100
2,0 (mm)	86	100
1,18 (mm)	70	100
600 (µm)	40	75
300 (µm)	10	35

Tamaño partículas	% aceptable pasando por peso	
	Mínimo	Máximo
150 (µm)	2	15
75 (µm)	0	10

Tamaño de partículas. Fuente: Charlotte-Mecklenburg BMP Design Manual (2010)

Además, debe contener un porcentaje de materia orgánica entre el 3-5% para permitir el crecimiento vegetal y su conductividad hidráulica estar en torno a los 100 mm/h. Ésta se medirá en una prueba con la mezcla de suelo que se vaya a emplear para conocer su valor real.

Gravas y agregados

Los SUDS emplean distintos tipos de gravas (diferentes tamaños) según su localización y función dentro del sistema.

En las juntas de pavimentos modulares permeables, alrededor de las celdas plásticas o en las superficies de las zanjas de infiltración se puede emplear gravillín con el siguiente rango de tamaño.

Tamaño del grano (mm)	Cernido acumulado %
14	100
10	90-100
6.3	80-99
2.0	0-20
1.0	0-5

Tamaño grano gravillín. Fuente: Charlotte-Mecklenburg BMP Design Manual (2010)

Su función es hacer de filtro, no almacenar agua, por lo que su espesor es de pocos centímetros cuando se coloca sobre zanjas y se queda a ras de los Módulos de las superficies permeables.

En las capas drenantes (las situadas bajo sistemas de biorretención y superficies permeables) se emplearán gravas o agregados lo suficientemente permeables para drenar el agua a través de ellas y, ocasionalmente, para almacenarla. La porosidad mínima ha de ser del 30% y su permeabilidad mínima de $6 \cdot 10^{-2}$ m/s.

También pueden emplearse materiales reciclados, pero se debe tener cuidado de que sean de calidad constante, tenga una clasificación adecuada y esté libre de materiales inaceptables, como materia orgánica o chatarra de acero. Es probable que si se emplea como capa drenante hormigón triturado tenga un alto valor de pH, lo que podría impedir el crecimiento de la vegetación, por lo que hay que tener cuidado con el elemento a instalar. Es importante que los materiales reciclados no se degraden en el servicio y no filtren los contaminantes a las aguas superficiales.

El material a emplear deberá cumplir con unos estándares mínimos en la resistencia a la fragmentación, resistencia al desgaste, durabilidad, forma, absorción de agua y lixiviación de contaminantes que, como los establecidos en las normas internacionales UNE-EN 933-8 y UNE-EN 1097-2.

Un ejemplo de las recomendaciones internacionales referentes al tamaño de los materiales es la AASHTO-M-43 que define para la arena de la capa inferior de las zanjas de infiltración los tamaños N°9 o N°10 y para las gravas de almacenamiento los tamaños N°2 o N°3.



Gravas de relleno en zanja de infiltración. Fuente: <https://arpimix.com/productos/geotextil-no-tejido-de-polipropileno/attachment/geotextil-no-tejido-polipropileno-06/>

Geotextiles

Los geotextiles se emplean dentro de los SUDS para actuar como filtros y separadores de medios, por ejemplo, para envolver la capa de gravas bajo un área de biorretención o un pavimento permeable.

Sus funciones son principalmente la de impedir que limos y partículas finas entren en las capas de almacenamiento de gravas para que no se colmaten o la de servir como elemento de protección del sistema dentro del suelo.

Por eso es importante que las capas de gravas bajo una mezcla de suelo dispongan de un geotextil que la envuelva, o que bajo la capa de gravillín que se coloca sobre la superficie de una zanja o pozo de infiltración se instale uno. Generalmente se emplea como medio separador de la matriz porosa para que no esté en contacto directo con el suelo y alargar la durabilidad tanto de agregados, gravas como celdas plásticas.

Como referencia a las características que ha de tener un geotextil se muestran las recomendadas en normativa internacional, para que sirvan de guía a la hora de seleccionar entre los productos que se comercializan en El Salvador: textil no tejido compuesto 100% por fibras vírgenes de polipropileno, con valores de punzonado estático (CBR) (según UNE EN ISO 12236) de 1,5-2KN; Abertura característica (según UNE EN ISO 12956) de 60-150 μm ; Permeabilidad vertical (según UNE EN ISO 11058) de 100-130 mm/s; Masa por unidad de superficie (según UNE EN ISO 9864) de 125-160 g/m² y alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.

Puesto que se trata de recomendaciones externas, para cada caso concreto es aconsejable consultar con el fabricante las necesidades de proyecto y las soluciones existentes en el mercado para satisfacerlas.



Geotextil no tejido en zanja de infiltración aún por rellenar. Fuente: <https://arpimix.com/productos/geotextil-no-tejido-de-polipropileno/attachment/geotextil-no-tejido-polipropileno-06/>

Geomembranas

Las geomembranas son láminas impermeabilizantes que se emplean para evitar que el agua percole hacia el subsuelo. Su uso típico es aislar sistemas de almacenamiento subterráneos de matriz porosa del medio, evitando que el agua se pueda infiltrar en el subsuelo. Generalmente se fabrican de polietileno de alta densidad o de polipropileno y sus características deben ser:

- Durable, robustas y capaces de soportar las cargas en la construcción
- Resistentes a la punción, tensiones multiaxiales y tensiones asociadas con el movimiento y agrietamiento por factores ambientales
- Resistentes frente a posibles contaminantes
- Poder soldarse con juntas completamente herméticas
- Tener la fuerza suficiente para resistir las fuerzas de tracción impuestas por el tráfico u otra carga.

Al igual que con los geotextiles, se recomienda revisar con el fabricante del producto sus cualidades para asegurar que son las idóneas para cada tipo de proyecto. A falta de una serie de reglamentaciones sobre sus características, se muestran las normas internacionales que debe cumplir la geolámina, como orientación de los ensayos y valores a cumplir.

PROPIEDAD	MÉTODO DE ENSAYO	VALOR LIMITANTE	VALORES TÍPICOS
Grosor general, mínimo (mm)	ASTM D-571	1.04	1.12
Resistencia a la rotura del tejido, mínimo (kN)	ASTM D-751	1.0	1.34

PROPIEDAD	MÉTODO DE ENSAYO	VALOR LIMITANTE	VALORES TÍPICOS
Flexibilidad de baja temperatura (oC)	ASTM D-2136	-40	-54
Resistencia a la perforación, mínimo (kN)	FTMS 101-C	1.56	1.78
Resistencia al desgarro mínimo lbf(kN)	ASTM D-5884	0.24	0.45
Estabilidad dimensional % de cambio, máx	ASTM D-1204	1.0%	-0.5%
Resistencia hidrostática mínimo (MPa)	ASTM D-751	2.4	2.75
Adhesión de la capa, mínimo (kN / m)	ASTM D-413	3.5	5.25
Absorción de agua, máximo % de cambio de peso	ASTM D-471	<1.0%	<1.0%
Resistencia a la luz UV	ASTM G-26 Xenon Arc, 80oC/4000 horas	-	-
Fuerza en las juntas adheridas, mínimo (kN)	ASTM D-751	0.89	0.89
Adherencia de la lámina, mínimo (kN/m)	ASTM D-413	3.5	3.5

Propiedades de las Geoláminas. Fuente: Charlotte-Mecklenburg BMP Design Manual (2010)

MÓDULO 3. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

La forma más sencilla de clasificar los SUDS es la que distingue las medidas entre no estructurales y estructurales:

– Las medidas no estructurales son las que no precisan ni una actuación directa sobre la red ni la construcción de infraestructura alguna.

– Las estructurales son aquellas que gestionan la escorrentía mediante actuaciones que contengan algún elemento constructivo. Las técnicas estructurales contempladas en la guía son:

- Depósitos de lluvia
- Techos verdes
- Pozos de infiltración
- Zanjas de infiltración
- Superficies permeables
- Lagunas de infiltración
- Cunetas verdes
- Áreas de biorretención
- Franjas filtrantes
- Depósitos de detención
- Estanques de laminación

Medidas no estructurales

Precauciones de la ciudadanía

- No depositar basuras directamente en las calles para prevenir taponamiento de tragantes.
- Retenciones en los canales de los tejados con bajantes reducidos.

Mantenimiento viario

- Limpieza de tragantes y rejillas de recogida directa de aguas lluvia para evitar que se taponen.
- Limpieza de calles y parqueos donde se acumulan grandes cantidades de contaminantes.

Gestión de la vegetación de parques, jardines y arriates

- 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.
- Se deben emplear herbicidas/pesticidas no tóxicos y en pocas dosis porque las aguas de lluvia los arrastran hasta las quebradas.

Desarrollo urbanístico controlado

- Respetar las zonas inundables, cuerpos de agua, arroyos, quebradas y zonas de acumulación de agua.
- Minimizar las áreas impermeables y reducir la compactación del suelo

Depósitos para la recolección de Aguas Lluvias

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.

Pueden tener 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 consumo (cisternas del baño, depósito para limpieza, ...)

Funcionamiento

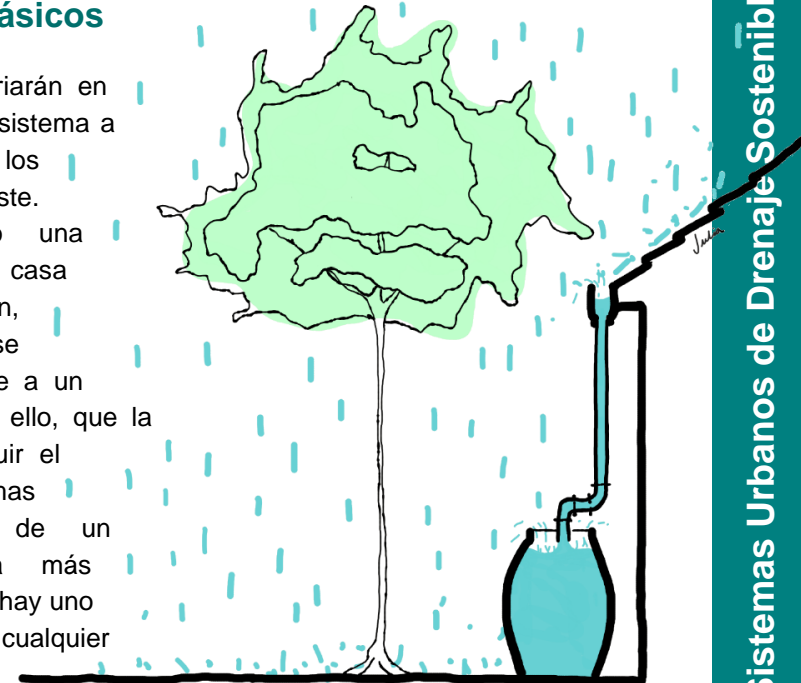
El agua que precipita sobre el techo va a parar a unas canaletas que la conducen hacia un bajante que desemboca en el depósito de

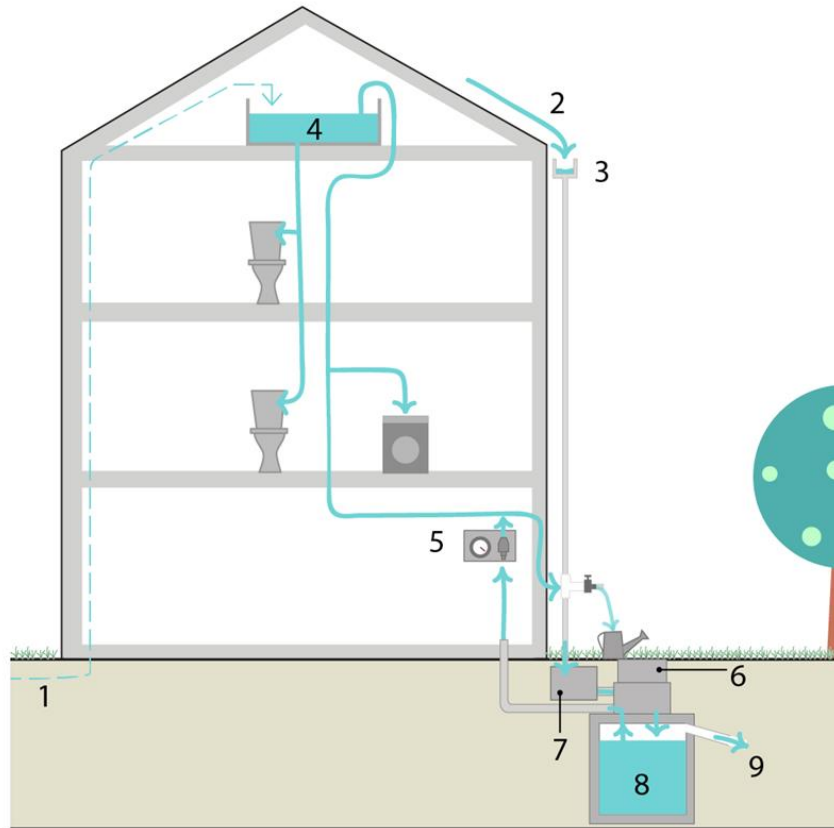
recolección de lluvia. Ahí se conserva para, posteriormente, darle algún uso, como sería agua de riego, para cisternas de baño, agua para lavar, etc. Con este aprovechamiento se consigue reducir el gasto de agua de la red de abastecimiento.

Componentes básicos

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. Pero sí que hay uno elementos comunes a cualquier sistema de recolección.

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





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.

de 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

Consideraciones generales en el diseño e instalación

- 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.
- La superficie del área de captación 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.
- Es recomendable que las aguas lluvias sean filtradas para evitar la entrada de partículas que pueden mermar el funcionamiento del sistema y empeorar la calidad del agua almacenada.
- 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.
- El sistema de recolección y reuso de aguas lluvias ha de ser completamente independiente de la red de abastecimiento de agua potable evitando las conexiones cruzadas.
- Se recomienda informar 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.

Consideraciones generales en el 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.

Techos verdes

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.

Funcionamiento

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.

Componentes

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

1. Capa impermeabilizante

Evita que 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.

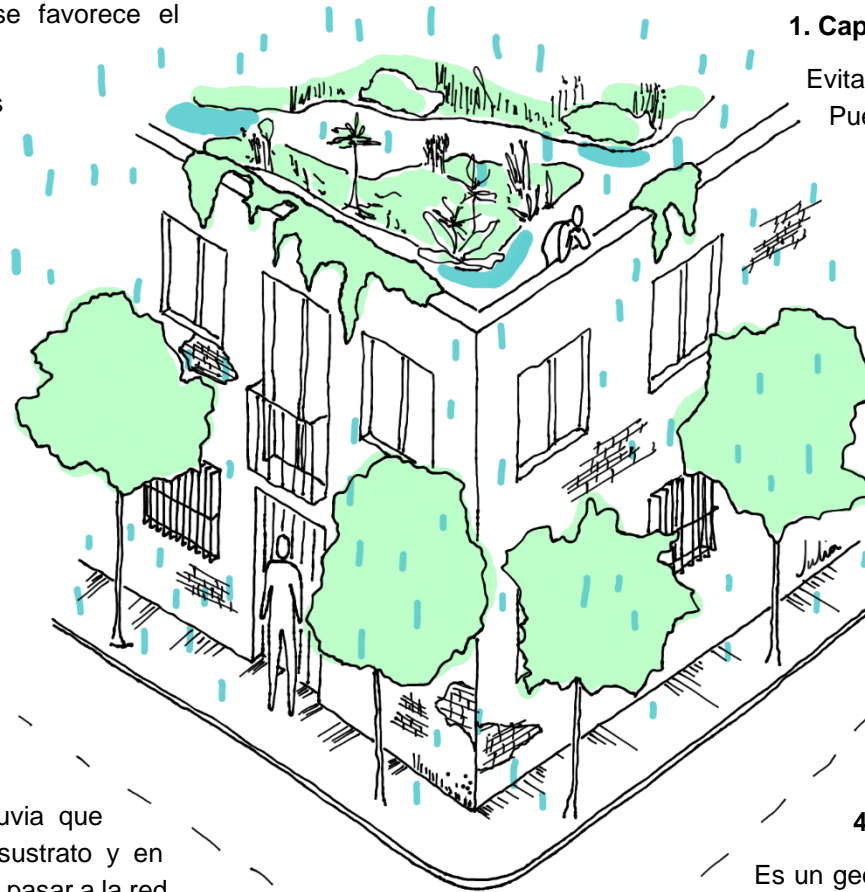
3. La capa de drenaje

Controla el agua de retención del tejado. Evita la erosión producida por la filtración del agua y el encharcamiento que se produce cuando hay poca pendiente.

Puede ser de materiales de muy distinta naturaleza como: gravas, lava triturada o láminas plásticas con recovecos.

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

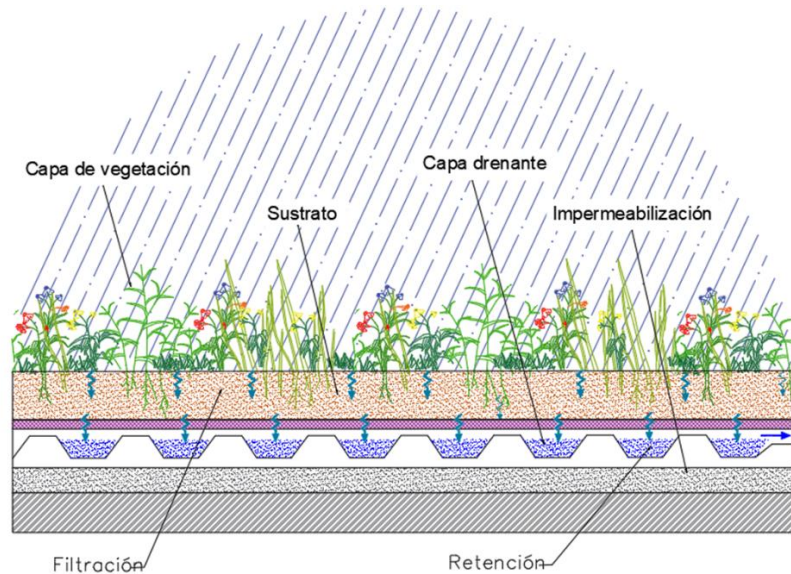


5. El sustrato o medio de crecimiento.

Proporciona el espacio físico, de estructura porosa, con nutrientes, composición química y propiedades de drenaje necesarios para el crecimiento de las plantas escogidas.

6. La capa de vegetación

Puede ser plantada artificialmente, mediante semillas, vástago o por colonización natural. Pueden emplearse gramas, cubresuelos, maní rastrero, etc.



Tipos

Extensivos (o Techos Verdes Autoregulados)

Son cubiertas ligeras, con un sustrato de espesor, de 2 a 15 cm. Las plantas resisten con pocos requerimientos de agua, fertilizantes o de la adición de nutrientes. No requieren mucho mantenimiento.



Techo verde extensivo. Fuente: Zinco

Intensivos (o Techos Verdes Ajardinados)

Con una amplia variedad vegetal que requieren mantenimiento periódico. Necesitan de mayores cargas estructurales y espesores de sustrato para retener más agua y sustentar la vegetación.



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.



Techo semi-intensivo. Fuente: Zinco

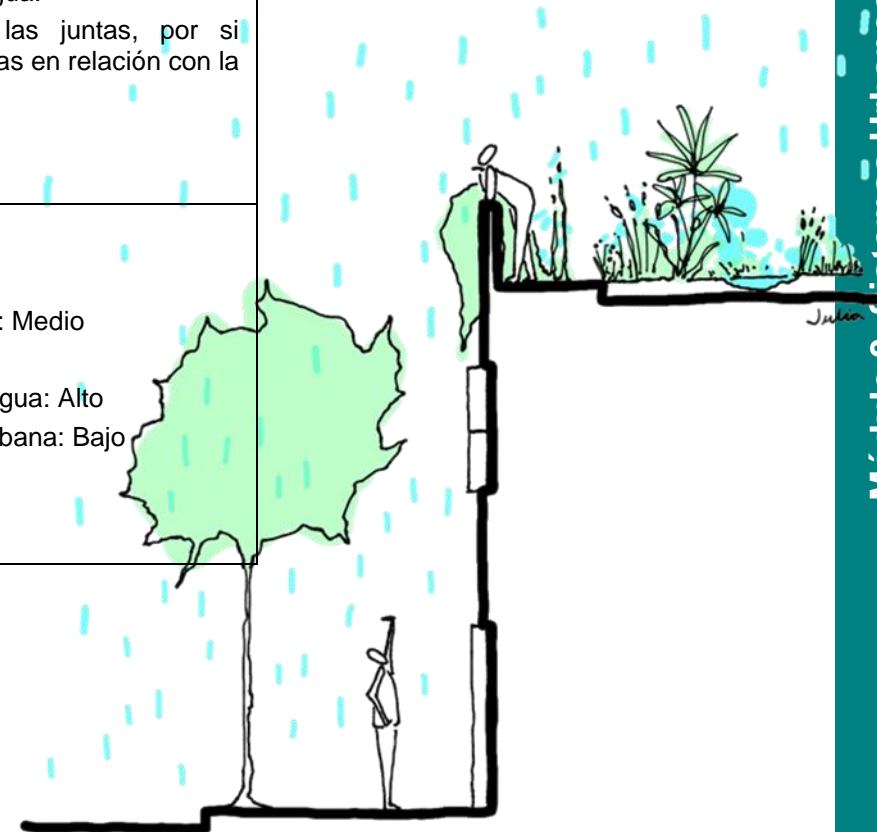
También hay cubiertas verdes enfocadas a la creación de un hábitat, diseñadas para atraer unas especies particulares de plantas, insectos y pájaros, creando un hábitat similar al previo a la edificación. Puesto que se orientan a aumentar el valor de la biodiversidad, la interacción humana en estos tejados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

Características	Extensivas	Semi-Intensivas	Intensivas
Mantenimiento	Bajo	Periódico	Alto
Riego	No	Periódica	Regular

Características	Extensivas	Semi-Intensivas	Intensivas
Comunidades de plantas	Sedum, herbáceas y césped	Gramas, herbáceas y matorrales	Gramas, 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/m ²	120 - 200 kg/m ²	180 - 500 kg/m ²
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.

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

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



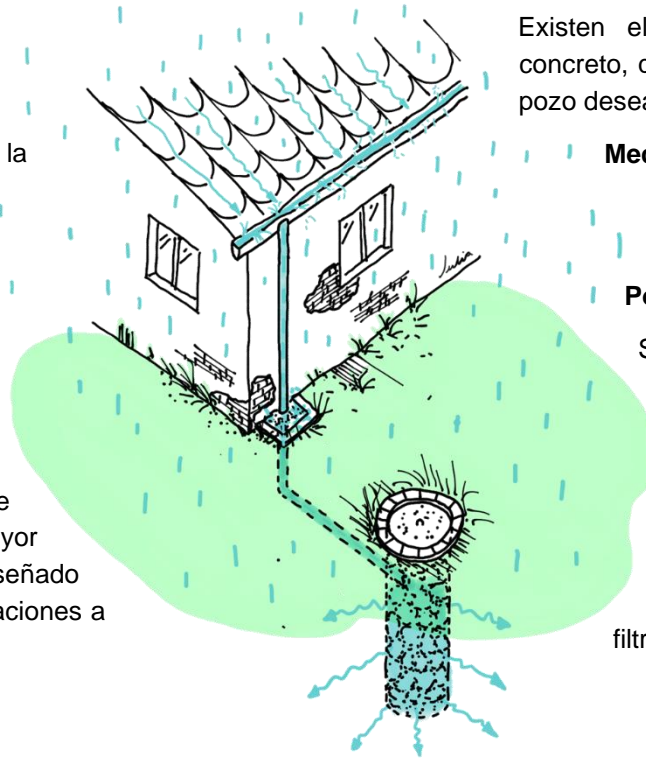
Pozos de infiltración

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.

Funcionamiento

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.



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 compatible con las texturas del suelo circundante y los propósitos de la aplicación.

Anillo de concreto (opcional en pozos cilíndricos)

Existen elementos prefabricados, anillos circulares ranurados de concreto, que se encajan unos sobre otros hasta alcanzar la altura de pozo deseada.

Medio filtrante o de acumulación

Es el lecho donde se acumula el agua. Puede estar compuesto de celdas plásticas o gravas,

Pozo de observación

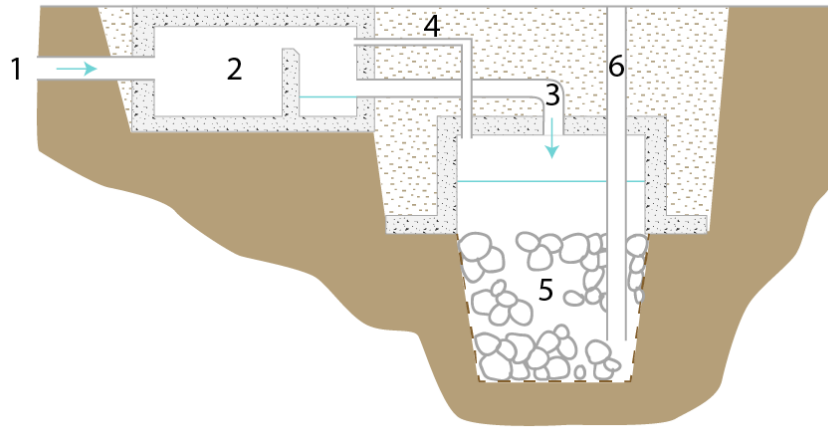
Se recomienda colocar un tubo ranurado, anclado verticalmente y con una tapa superior protectora para observar el nivel del agua dentro del pozo por si hubiera problemas de colmataciones.

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.



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.

<p>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.</p>	
<p>Ventajas:</p> <p>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</p>	<p>Limitaciones:</p> <p>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 colmatar el subsuelo y acuífero si está cerca Requiere de inspecciones y mantenimiento periódicos</p>
<p>Requisitos de mantenimiento:</p> <p>Hay que inspeccionarlas para revisar posibles obstrucciones. Retirada de sedimentos. Retirada y limpieza de los materiales filtrantes.</p>	<p>Rendimiento:</p> <p>Reducción del caudal punta: Medio Reducción de volumen: Alto Tratamiento de calidad de agua: Alto Potencial beneficio social/urbana: Bajo Potencial ecológico: Bajo</p>

Consideraciones generales en el diseño e instalación

- Los pozos ocupan muy poco espacio por lo que se pueden ubicar en pequeños espacios, con la superficie al aire libre o cubiertos,
- Para evitar causar daños, se debe evitar su construcción en la corona de taludes y laderas.
- 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 tampoco son aptos para la instalación de pozos de infiltración los terrenos con permeabilidad menor que 10^{-5} m/s.
- Deben permitirse drenar y volverse a airear entre los eventos de lluvia (no deben utilizarse en sitios con flujo continuo de agua).
- Si el agua a infiltrar procede de áreas aportantes donde se acumulen partículas o sedimentos, se ha de instalar una cámara de decantación. Su volumen puede estimarse aproximadamente como la mitad del volumen de almacenamiento neto del pozo.
- También es recomendable poner un rebose, una cámara desde la que se evacúa el exceso de agua antes de que entre al pozo.

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.

Consideraciones generales en el mantenimiento

Los pozos de infiltración requieren un mantenimiento regular para asegurar un adecuado funcionamiento hidráulico. Las principales tareas que realizar son:

- Limpiar los filtros o pretratamientos instalados
- Retirar sedimentos de la cámara de decantación (de llevarla)
- Sustitución del geotextil en caso de rotura
- Limpieza del medio filtrante o de acumulación

Zanjas de Infiltración

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.

Funcionamiento

Almacenan en un lecho de gravas o de celdas plásticas un volumen de agua que se infiltra en el subsuelo por el suelo y las paredes de la zanja.

Componentes

Son los mismos que en los pozos de infiltración (salvo los anillos de concreto):

- **Capa superior**
- **Geotextil**
- **Medio filtrante o de acumulación**



Izquierda: Celda plástica para la acumulación de las aguas lluvias con colector. Fuente: Durman. Derecha: Instalación de celdas en una zanja. Fuente: Amanco

- **Pozo de observación**
- **Lecho de arena**
- **Elementos adicionales: Pretratamiento**

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 colmatar 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

Consideraciones generales en el diseño e instalación

Están generalmente restringidas a lugares sin pendientes significativas, la pendiente longitudinal no debe exceder el 6% (se puede dividir en tramos para no perder capacidad de almacenamiento ya que el fondo de la zanja debe ser horizontal).

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 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.

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.

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.

Consideraciones generales en el 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.

Superficies Permeables

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.



Funcionamiento

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.

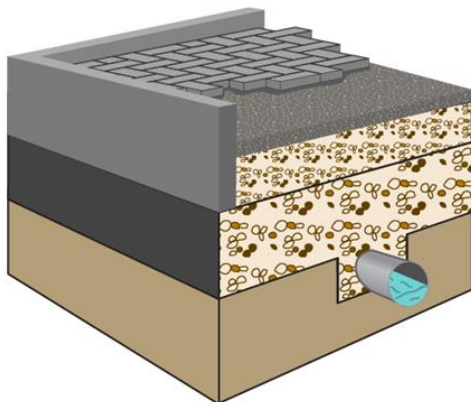
Tipos

Existen diversas clases de superficies permeables, ejemplos:

- 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

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 subyacente al pavimento
- 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)



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.
 Disminución 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.
 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.

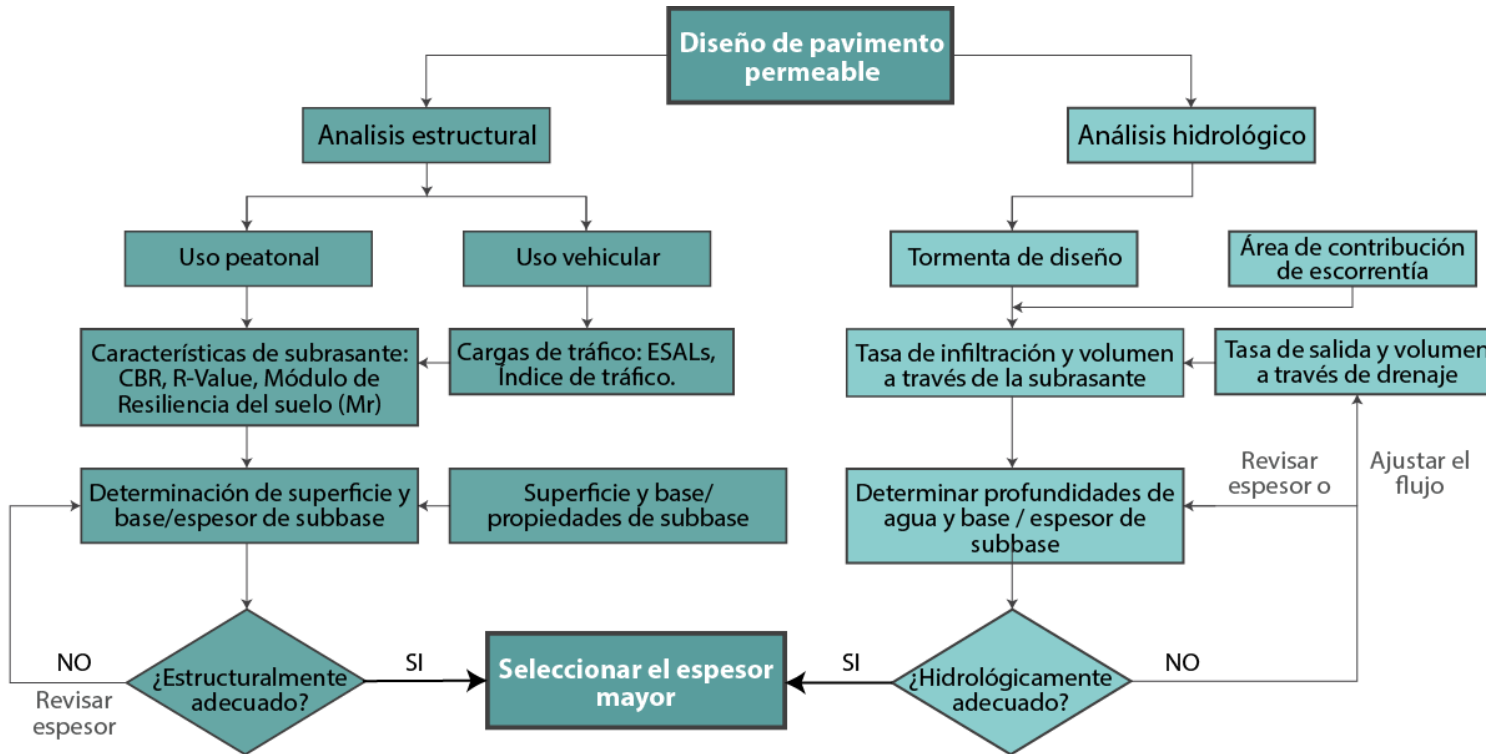
Requisitos de mantenimiento:

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

Consideraciones generales en el diseño e instalación



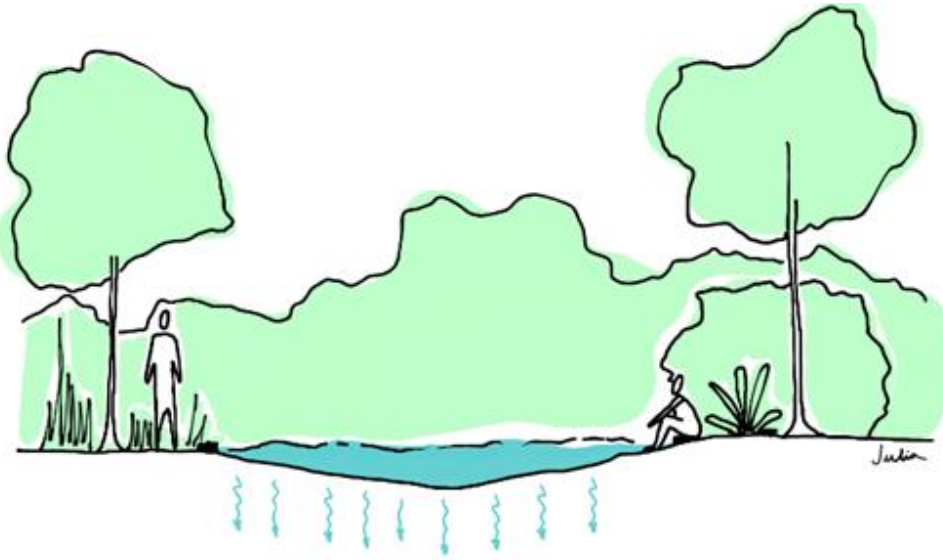
Esquema para el diseño de pavimentos permeables. Fuente: Adaptación de ISCYC

Consideraciones generales en el mantenimiento

La vida útil de las superficies permeables depende de lo que tardan 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).

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 colmatarse el suelo y el sistema.

Lagunas de Infiltración



Son depresiones poco profundas en el terreno cubiertas con grama que almacenan e infiltran gradualmente la escorrentía 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. Permiten el almacenamiento temporal por encima de la superficie del terreno en forma de lámina de agua alcanzando 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.

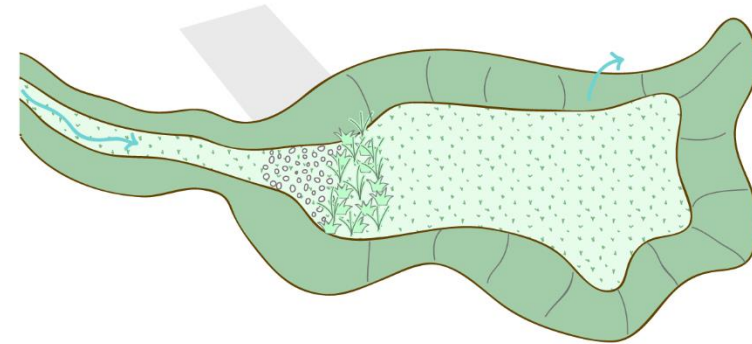
Funcionamiento

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.

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



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. Se debe permitir una salida segura del excedente (flecha azul). Con un acceso en gris para el mantenimiento. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015).

<p>Usos típicos Gestión de la escorrentía en zonas residenciales de no muy alta densidad donde las aguas no arrastren una carga contaminante importante.</p>	
<p>Ventajas:</p> <p>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.</p>	<p>Limitaciones:</p> <p>Nivel de fracaso potencialmente alto por inadecuada ubicación, mal diseño o la falta de mantenimiento. 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.</p>
<p>Requisitos de mantenimiento:</p> <p>Inspecciones periódicas. 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.</p>	<p>Rendimiento:</p> <p>Reducción del caudal punta: Medio Reducción de volumen: Bueno Tratamiento de calidad de agua: Bueno Potencial beneficio social/urbana: Bueno Potencial ecológico: Bueno</p>

Consideraciones generales en el diseño e instalación

No han de instalarse en lugares con pendientes superiores al 15% y el fondo ha de mantenerse de forma horizontal.

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.

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.

La distancia con el nivel freático máximo estacional debe superar los 3 metros.

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.

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.

Consideraciones generales en el mantenimiento

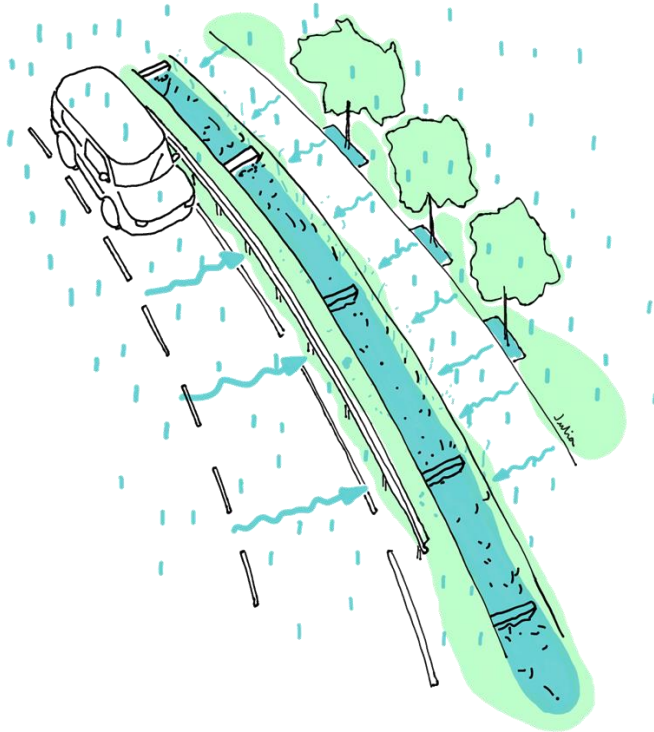
El mantenimiento regular es fundamental para el funcionamiento exitoso de las cuencas de infiltración. Las recomendaciones de operación y mantenimiento incluyen:

- 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.

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.

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.



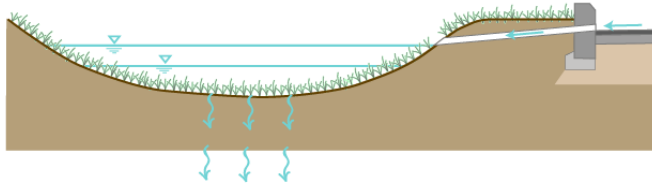
Funcionamiento

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. Suelen estar diseñadas para proporcionar una combinación de conducción, infiltración, detención y tratamiento de la escorrentía.

Tipos

Cunetas verdes simples

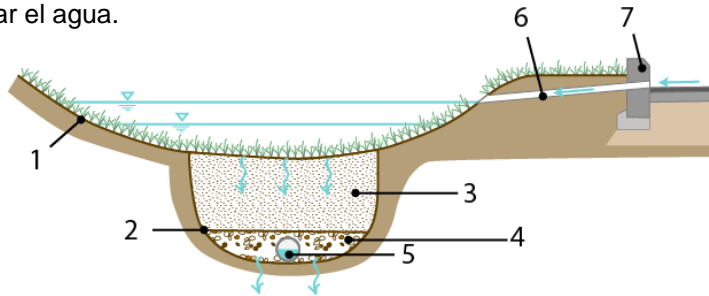
Son canales amplios y poco profundos con vegetación, particularmente efectivos a la hora de dirigir y transportar la escorrentía. Pueden estar diseñadas tanto para la filtración como para la detención.



Sección de cuneta verde simple. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015) y Minvu.

Cunetas verdes con lecho filtrante

Bajo el fondo de la cuneta hay instalada una zanja de gravas que aumenta 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 Sección de cuneta verde con lecho filtrante. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015) y Minvu.

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

Consideraciones generales en el diseño e instalación

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.

No se recomienda que se instalen con pendientes superiores al 5%. 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.

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

Las cunetas verdes pueden tener secciones triangulares, trapezoidales o parabólicas. 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.

Si este tipo de elementos son parte del drenaje longitudinal de un vial o carretera, el MARN especifica en la “*Guía de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos*”, que el periodo de retorno a emplear para el dimensionamiento es de 20 años.

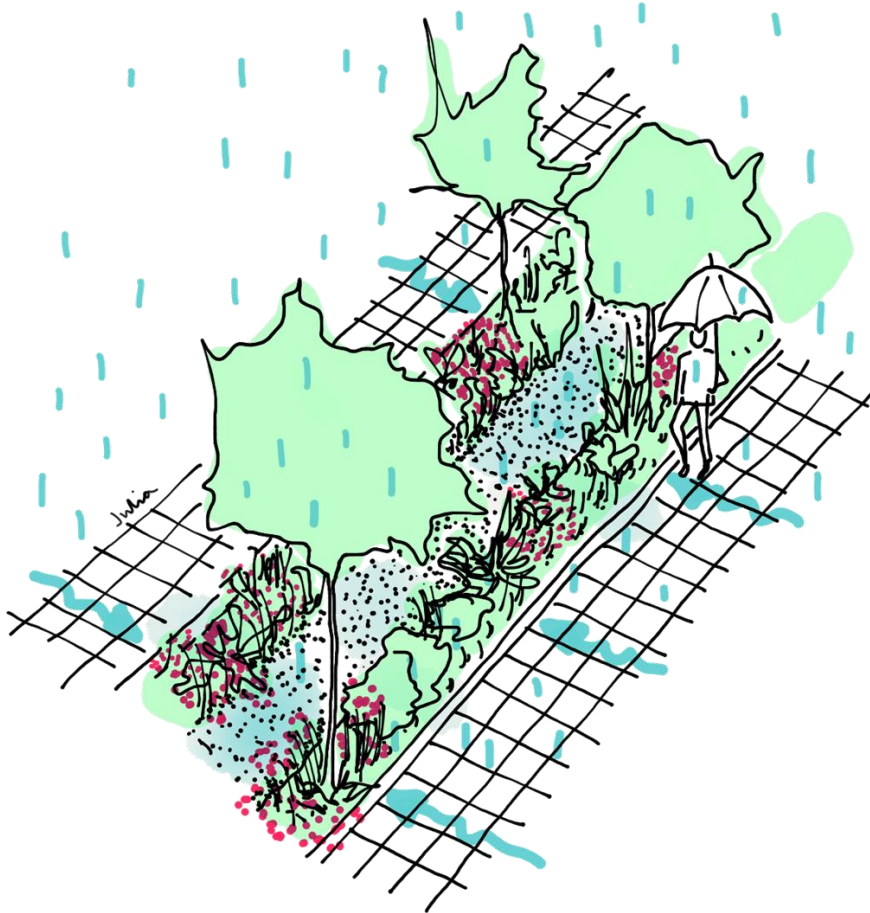
Consideraciones generales en el mantenimiento

El mantenimiento y las inspecciones regulares son importantes para que las cunetas verdes funcionen correctamente a lo largo de toda su vida útil. Puntos básicos:

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.
3. El control de la erosión en las cunetas verdes donde se ha procedido a la plantación mediante semillas debe ser bastante minucioso.
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.
6. 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.
7. 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.

Áreas de biorretención

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.

Funcionamiento

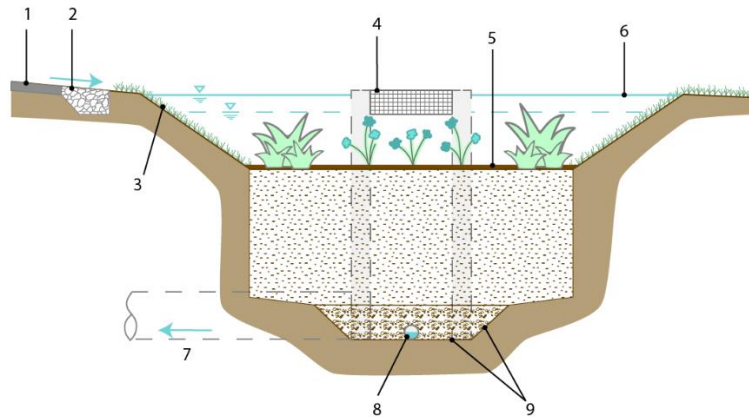
Un área de biorretención captura la escorrentía superficial y permite que el agua se filtre a través de las diferentes capas que la componen. A medida que el agua se filtra, los contaminantes se eliminan a través de una variedad de mecanismos que incluyen la adsorción, la actividad microbiana, la absorción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



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) (45 cm máx)
- Mezcla de suelo para la biorretención (10 a 120cm)
- Vegetación
- Almacenamiento adicional en capa de grava con desagüe inferior (opcional) (10 cm mín)
- Punto de salida del agua por desbordamiento



Sección típica de un área de biorretención 1. Entrada de escorrentía. 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 (2010).

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

Consideraciones generales en el diseño e instalación

Las áreas de biorretención demandan del 5 al 10% de la superficie del área drenante.

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.

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.

La entrada del agua al sistema debe ser diseñada para evitar la erosión dentro del área de biorretención, se puede hacer con una franja de gramas o de gravas y también puede emplearse una cámara de decantación.

La 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 en una proporción de entre un 5 y un 10%.

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.

Consideraciones generales en el 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.

Franjas Filtrantes

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, reduciendo los niveles de partículas contaminantes.

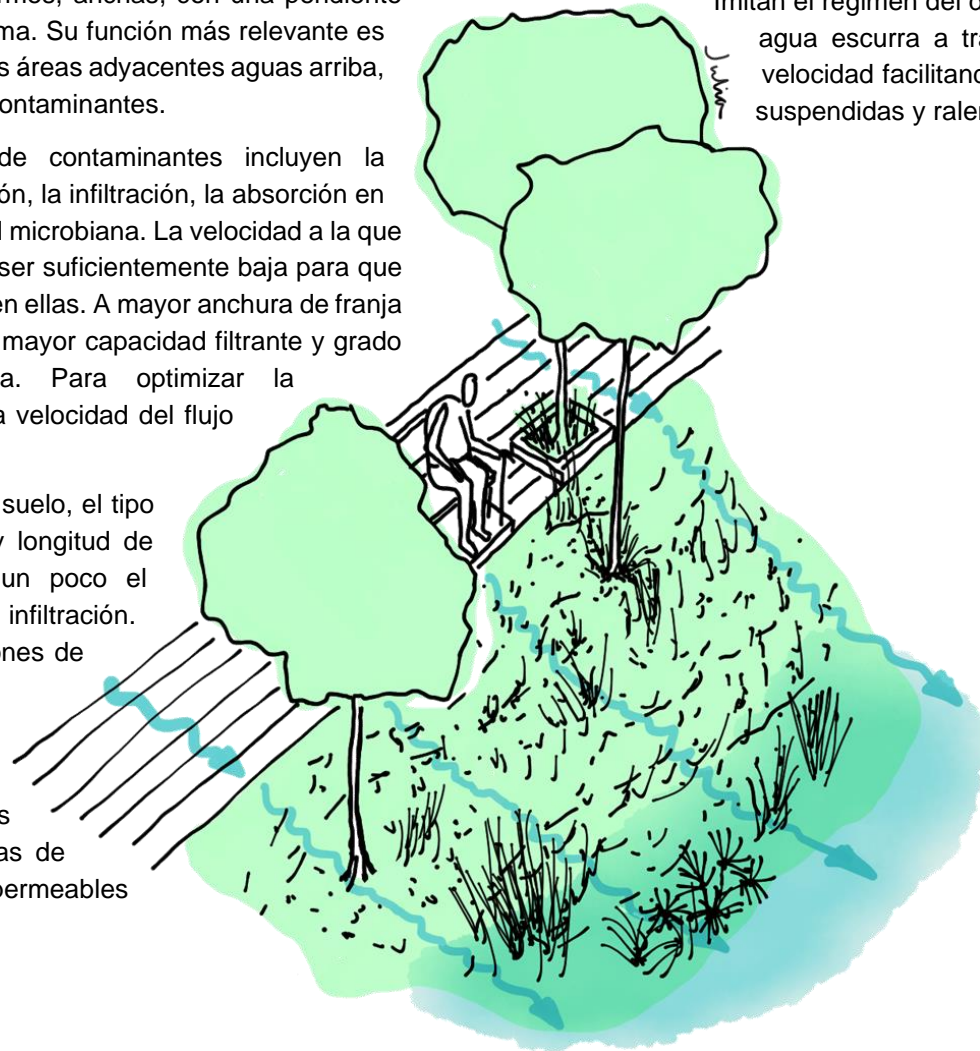
Los mecanismos de eliminación de contaminantes incluyen la sedimentación, la filtración, la absorción, la infiltración, la absorción en las raíces de las plantas, y la actividad microbiana. La velocidad a la que circular el agua por las franjas ha de ser suficientemente baja para que los sedimentos, 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 funciones de estas técnicas.

Sirven como pre-tratamiento para eliminar el exceso de sólidos y contaminantes 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.

Funcionamiento

Limitan 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 y ralentizando la velocidad del flujo.



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

Consideraciones generales en el diseño e instalación

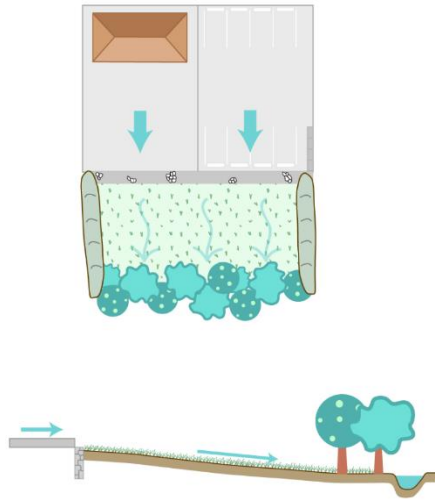
Para que el agua circule por la superficie de las franjas, ésta ha de tener una cierta inclinación, (lo ideal es seguir la pendiente natural del terreno siempre que esta sea suave). Aunque pueden instalarse hasta pendientes del 10%, para el AMSS deberá estar entre el 2% y el 6% dados los riesgos de deslizamientos de laderas.

Las franjas filtrantes pueden ser utilizadas en la mayoría de los lugares, pero si cerca de la superficie hay Tierra Blanca Joven, puede que se infiltre agua causando problemas asociados a dicho estrato, por lo que habrá que evitar su instalación en esos casos o colocar una geolámina impermeable debajo del sustrato donde crece la grama.

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 adyacente. 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.

La lámina de agua que escurre por la franja no ha de superar los 25 mm de altura para el caudal de diseño de 10 años de periodo de retorno. Además, la altura de agua no ha de ser superior a la mitad de la altura de la grama y la carga hidráulica no ha de ser superior a 4,5 l/s por metro lineal.

El largo de la franja (en el sentido del flujo) debe ser superior al mayor de los valores siguientes para que resulte efectiva, 2,5m o el 20% de la longitud del recorrido del agua sobre la superficie aportante de escorrentía antes de ingresar a la franja.



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

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 riego y mantenimiento hasta que las plantas hayan crecido o hasta la época de lluvias.

Se debe revisar y refinar la nivelación de la superficie de la franja filtrante muy bien, 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.

Para que la plantación de semillas tenga éxito se debe afianzar las franjas filtrantes con métodos de estabilización permanentes apropiados para el suelo, como el control de erosiones con el uso de geotextiles. Es muy importante que la franja filtrante tenga plenamente establecida y



desarrollada la vegetación antes de recibir la escorrentía de aguas arriba.

Si más del 30 por ciento del área de tratamiento queda desnuda después de cuatro semanas del final de la construcción, debe ser nivelada y allanada de nuevo y habría que volver a sembrar inmediatamente después de estabilizarse.

Consideraciones generales en el 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. Las tareas a realizar más representativas son:

- Eliminación de basura y residuos
- El corte de la grama para conservar la altura dentro del rango de diseño especificado.
- Gestión de otro tipo de vegetación presente y eliminación de malas hierbas.
- Volver sembrar en las áreas donde la vegetación sea pobre.

Depósitos subterráneos de detención

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.

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.

Funcionamiento

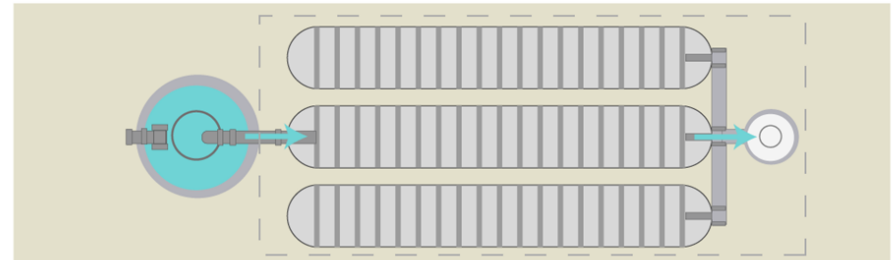
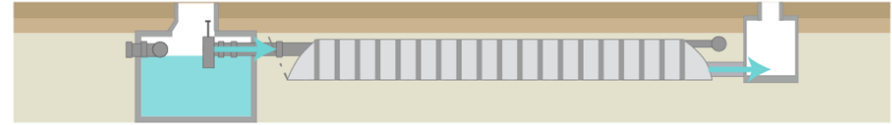
La escorrentía va a parar a ellos donde se van acumulando hasta un determinado momento en el que sale un caudal más bajo que el caudal de entrada, laminando así el flujo.

Tipos

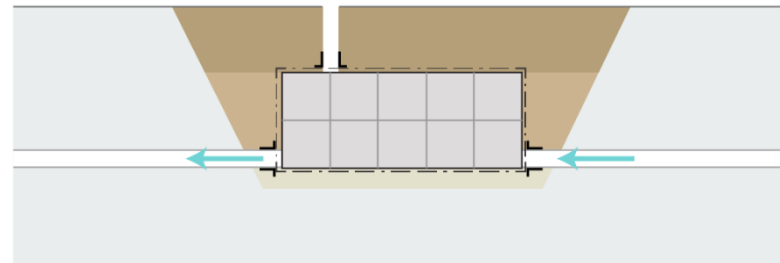
Los sistemas de detención subterráneos pueden ser elementos de diferente naturaleza, siendo los más comunes:

- Sistemas de almacenamiento modulares formados por 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



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)



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

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:

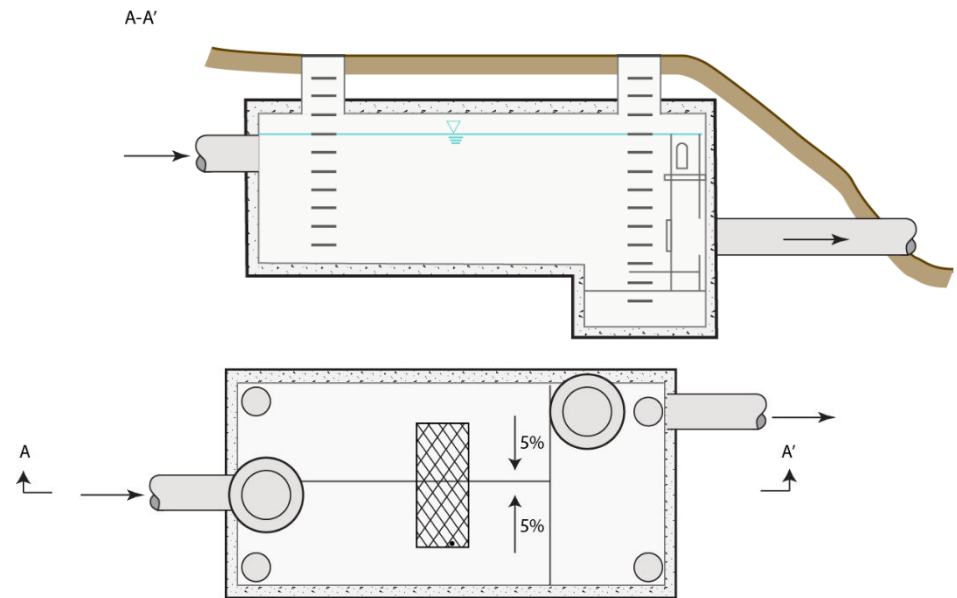
No es útil para tratamientos de la calidad del agua (generalmente brindan menos de 24 horas de detención).
 Susceptibles a la resuspensión del material resuelto por tormentas sucesivas.
 No reducen el volumen de escorrentía ni facilitan la recarga de acuíferos.
 Pueden verse afectados si se instalan enterrados en tierra blanca joven (TBJ) ya que si a esta 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 desfogeo 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



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

Consideraciones generales en el diseño e instalación

Los diferentes tipos de depósitos de detención subterránea requieren de diferentes diseños estructurales según su forma y los materiales con los que se ha fabricado. Todos han de seguir las recomendaciones de los estándares de calidad de la American Society of Testing and Materials (ASTM) y cumplir con el Reglamento para la seguridad Estructural de El Salvador.

En cualquier caso, se han de considerar en el diseño los siguientes factores:

- Influencia de las condiciones específicas del suelo en el desempeño estructural e hidráulico del depósito
- Posibles procesos de deformación del depósito
- Aplicabilidad y relevancia de las pruebas de resistencia del laboratorio de los fabricantes
- Limitaciones de diseño de los fabricantes
- 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

En relación con el diseño hidráulico. la estimación del volumen a gestionar se realizará para una tormenta de diseño de 10 años (si se trata de una técnica de control en origen o control local) o 25 años (si se trata de una técnica de control regional) de periodo de retorno y una hora de duración a menos que OPAMSS determine que hay que emplearse otro valor por motivos de seguridad. También por motivos de seguridad es recomendable que el depósito tenga un resguardo del 20% y un aliviadero 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. Los puntos de salida de los depósitos de almacenamiento subterráneo serán dos claramente diferenciados. Uno, la tubería de desfogue otro, 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.

Consideraciones generales en el 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).

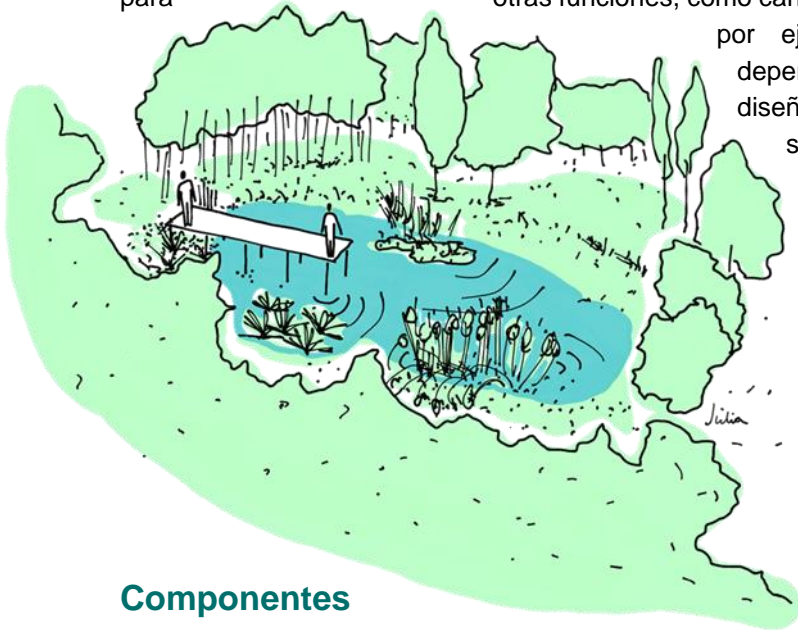
Los sistemas han de limpiarse antes de la época lluviosa para que dispongan de su capacidad por completo, también se deben retirar sedimentos de pozos de entrada y salida, así como revisión de rebosaderos.

Para asegurar el correcto funcionamiento de los elementos que componen este tipo de sistemas, han de realizarse inspecciones regulares.

Estanques de Laminación

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.

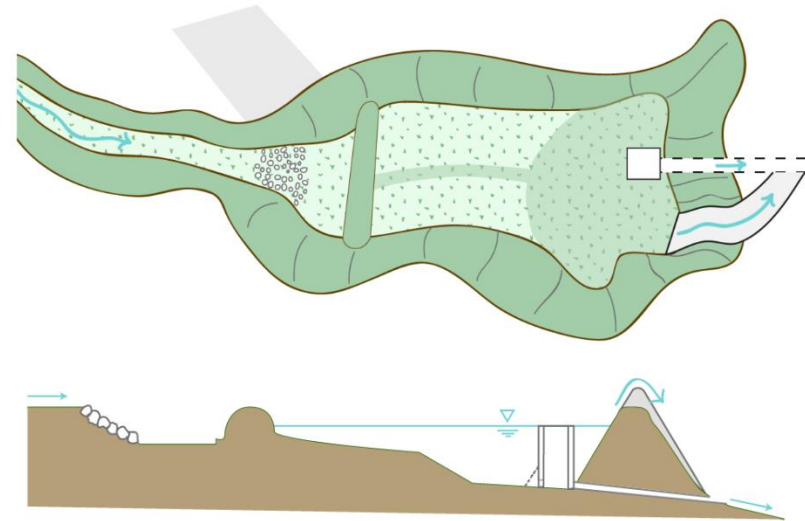
Su objetivo fundamental es reducir los caudales máximos hacia aguas abajo, pero en época seca el espacio que ocupan puede ser empleado para otras funciones, como cancha deportiva, por ejemplo. Todo dependerá de su diseño y el uso que se pretenda dar.



Componentes

- Entrada
- Disipador de energía (opcional)
- Sedimentador (opcional)
- Zona de almacenamiento

- Vertedero de seguridad
- Colector de salida



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 rebotadero de emergencia (canal en gris en el esquema) cuando alcanza una determinada altura. Fuente: Adaptación Minvu y Ciria (2015).

<p>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.</p>	
<p>Ventajas:</p> <p>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.</p>	<p>Limitaciones:</p> <p>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.</p>

<p>Requisitos de mantenimiento:</p> <p>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.</p>	<p>Rendimiento:</p> <p>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)</p>
--	--

Consideraciones generales en el diseño e instalación

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

En la selección del periodo de retorno para la estimación de caudales, además del Reglamento OPAMSS habrá que tener en cuenta lo dispuesto por la entidad competente ambiental, el MARN; que establece que para ese tipo de obras es de 25 años.

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 y pueden existir uno o varios puntos de entrada de caudal.

Los taludes del estanque deben facilitar la entrada y salida de los operarios y maquinaria de mantenimiento y, además, no suponer un riesgo para las personas por caídas.

Una salida típica del caudal laminado es a través de una cámara de descarga, existen varios tipos de diferente complejidad, pero lo que no se recomienda es la instalación de válvulas o compuertas que demanden la presencia de personal durante las tormentas.

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 (o el que corresponda según el caso).

También debe instalarse un vertedero o rebosadero de seguridad para desaguar de forma segura el excedente de caudal que se va acumulando en el estanque. El caudal de diseño a emplear es la diferencia entre el caudal 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 $T_r=50$ años) y el caudal que se evacúa por el colector de salida.

Consideraciones generales en el 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 y porque estancamientos prolongados de la escorrentía favorecen el desarrollo de mosquitos que hacen necesario el empleo de pesticidas.

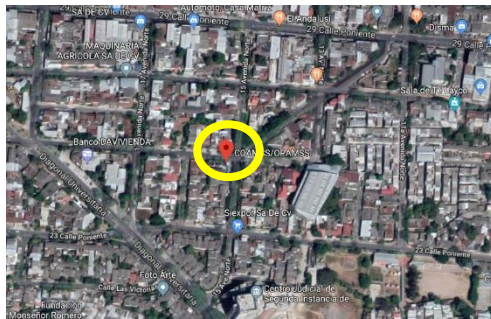
MÓDULO 4. Diseño de SUDS para el AMSS. Ejemplos

Depósito de pluviales

El objeto de este ejemplo es cosechar las aguas lluvias precipitadas sobre el techo de OPAMSS para el mantenimiento del muro verde de la zona de parqueo. Los pasos a seguir son:

1- Caracterización de la zona de proyecto:

La zona de proyecto son las oficinas de OPAMSS-COAMSS localizadas en la 15 Avenida Norte de la ciudad de San Salvador. Puesto que se trata de un área <500 m², la información de partida para el diseño de un sistema de reuso de aguas lluvias se limita a los datos pluviométricos, los planos del edificio y la estimación del consumo de agua que se suplirá con la lluvia cosechada.



Dentro del círculo amarillo, localización del edificio de proyecto, OPAMSS.

Pluviometría

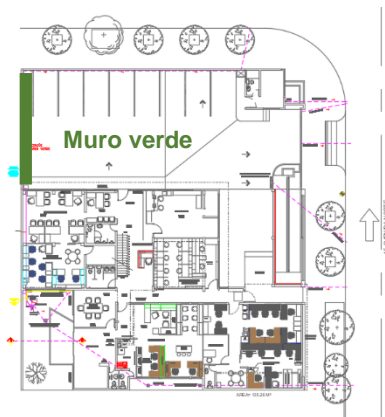
La estimación del volumen del depósito donde se almacenarán las aguas lluvias se realiza a partir de los valores de precipitación acumulada media:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Precipitación media (mm)	6	5	12	58	165	308	334	321	350	228	36	10	1833

Precipitaciones medias mensuales para San Salvador. Fuente: <https://es.climate-data.org/americadelnorte/republicadeelsalvador/departamentode-san-salvador/san-salvador-1889/>

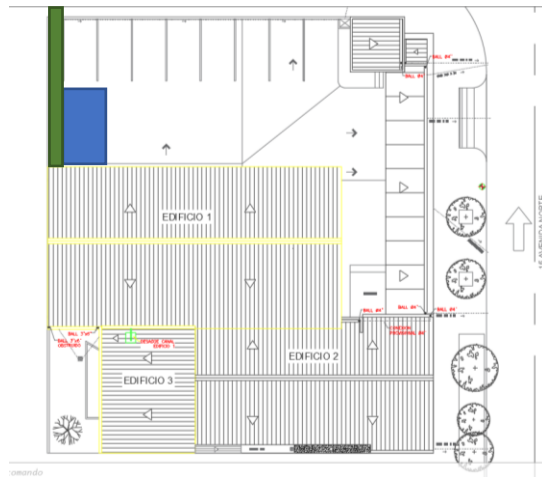
La distribución de las precipitaciones anuales es irregular a, concentrándose en los meses que van desde mediados de mayo a finales de octubre con precipitaciones frecuentes y de alta intensidad, mientras que en la temporada seca apenas si hay días de lluvia.

Antecedentes



Localización en planta del muro verde a regar con aguas lluvias e imagen del mismo. Fuente: OPAMSS

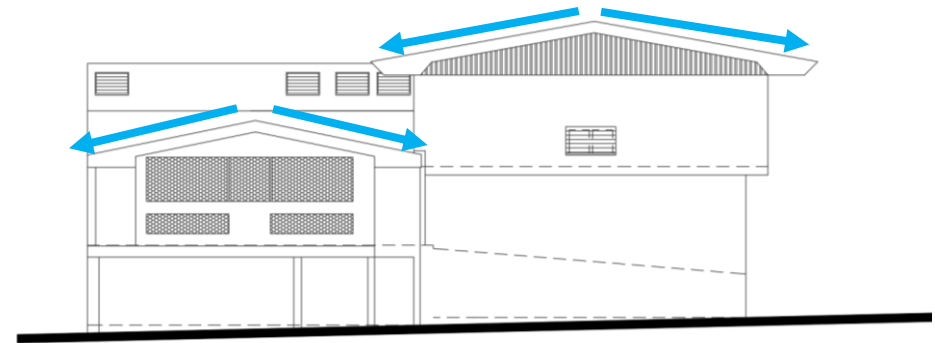
Bajo el parqueo y bajo el muro verde, se encuentra un depósito subterráneo de detención de las aguas lluvias que caen en el recinto. Este depósito de concreto y forma prismática rectangular tiene aproximadamente unos 14 m³. Correctamente limpiado podría suponer un posible espacio para el almacenamiento continuado de las aguas de escorrentía.



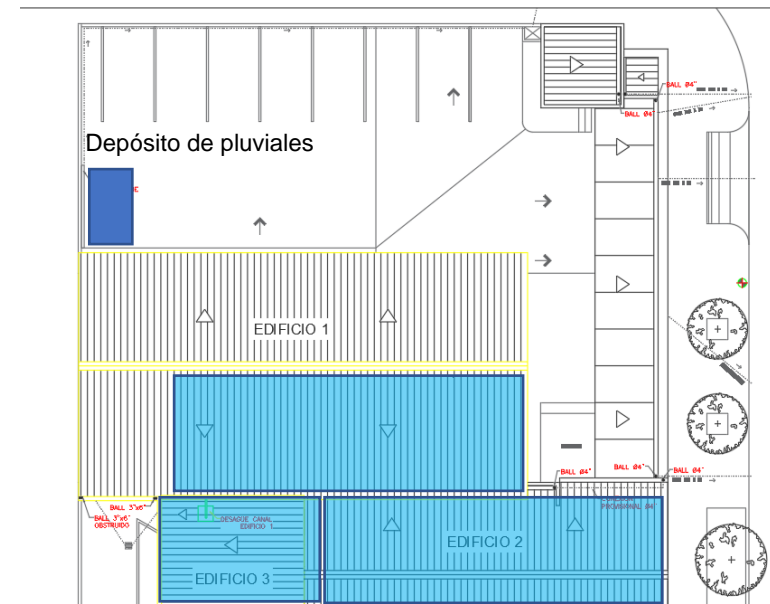
Localización del depósito de detención subterráneo (en azul) y del muro verde (en verde). Fuente: OPAMSS.

Potenciales áreas de captación de las aguas lluvias para el depósito.

Las superficies de los techos de los edificios de OPAMSS. Se trata de varios techos a dos aguas con una inclinación del 10%. El agua de lluvia escurre por el techo y cae libremente al suelo en la superficie del techo del edificio principal que da al parqueo, también ocurre con la mitad de la otra superficie del techo del edificio principal, que va a parar a un jardín interno. El resto se canaliza y va a parar al depósito de detención de pluviales. Puesto que ya está el sistema listo, éste será el que se reconvierta.



Perfil del edificio de OPAMSS, en azul el sentido del agua que cae sobre la cubierta del edificio principal. Fuente: OPAMSS.



En azul claro, las superficies de captación para abastecer al depósito de aguas lluvias. Fuente: OPAMSS.

Requerimientos de riego

Las necesidades de riego de la pared no se conocen con exactitud, se estiman a partir de datos bibliográficos en 8 l/m² · día. Teniendo en cuenta que la pared ocupa una extensión aproximada de 20 m², se necesitan unos 160 litros al día para mantener la vegetación.

2- Creación del modelo SUDS

El volumen total que se recolecta anualmente en cada una de las dos superficies inclinadas del techo:

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

Volumen que se puede recolectar en un año.

A: m² de superficie de captación de agua, 275 m

P: Pluviometría anual media de la ubicación: 1833 mm

C: Coeficiente de rendimiento, es función del tipo de superficie, en este caso, tejado duro inclinado: 0,8

Con esos valores, el volumen anual precipitado sobre las superficies de los techos de las oficinas de OPAMSS con canaleta que recolecta la escorrentía es de 403,26 m³. El volumen anual que se requiere para mantener el muro verde es de 58,4 m³ por lo que éste será el valor que se emplee para calcular el volumen mínimo que deberá tener el depósito de cosecha de aguas lluvias.

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

Volumen del sistema de recolección de pluviales.

Vol_E: Volumen anual a emplear, en este caso 58,4 m³

D_{Li}: Días que transcurren entre lluvias, puesto que en todos los meses hay contabilización de precipitaciones se considera 30, aunque en realidad las lluvias se concentran de mayo a octubre.

Vol_{SRP}: Volumen del sistema recolección de pluviales, **4,8 m³**

En esta una primera estimación, el volumen propuesto es inferior al almacenamiento de que se dispone, pero como en el AMSS las precipitaciones están tan polarizadas, conviene realizar un balance mensual de masas o método Rippl entre el agua precipitada y la consumida:

MES	Días/mes	Precipitación media (mm)	Volumen mensual (m ³)	Consumo mensual (m ³)	Balance entre los volúmenes precipitados y los consumidos (m ³)
E	31	6	1,32	4,96	-3,64
F	28	5	1,10	4,48	-3,38
M	31	12	2,64	4,96	-2,32
A	30	58	12,76	4,80	7,96
M	31	165	36,30	4,96	31,34
J	30	308	67,76	4,80	62,96
J	31	334	73,48	4,96	68,52
A	31	321	70,62	4,96	65,66
S	30	350	77,00	4,80	72,20
O	31	228	50,16	4,96	45,20
N	30	36	7,92	4,80	3,12
D	31	10	2,20	4,96	-2,76
TOTAL ANUAL	365	1833	403,26	58,40	344,86

Precipitaciones medias mensuales, consumos mensuales de agua para riego del muro verde y volúmenes acumulados. Fuente: Elaboración propia.

Aunque el balance anual da positivo (precipita más lluvia de la que se va a emplear en regar el muro verde) durante tres meses de época seca el primer año, y dos el segundo (se emplearía el agua acumulada en el

mes de diciembre y anteriores para el riego en enero) hay déficit de aguas lluvias para riego.

Actualmente hay disponibles 14 m³ de volumen de almacenamiento en el depósito de detención. Este valor es superior a las necesidades de acumulación para riego en los dos meses secos. Considerando todo ese volumen como útil, el balance hídrico mensual quedaría:

MES	Días/mes	Precipitación media (mm)	Volumen mensual (m ³)	Consumo mensual (m ³)	Volúmenes acumulados en depósito a final de mes el primer año (m ³)	Volúmenes acumulados en depósito a final de mes segundo año y posteriores (m ³)
E	31	6	1,32	4,96	0	8
F	28	5	1,10	4,48	0	4
M	31	12	2,64	4,96	0	12
A	30	58	12,76	4,80	8	14
M	31	165	36,30	4,96	14	14
J	30	308	67,76	4,80	14	14
J	31	334	73,48	4,96	14	14
A	31	321	70,62	4,96	14	14
S	30	350	77,00	4,80	14	14
O	31	228	50,16	4,96	14	14
N	30	36	7,92	4,80	14	14
D	31	10	2,20	4,96	11	14
TOTAL ANUAL	365	1833	403,26	58,40		

Balance de masas o método de Rippl mensual. Fuente: Elaboración propia.

3- Creación del modelo SUDS

La transformación de un depósito de detención en uno de almacenamiento de aguas lluvias necesita una serie de actuaciones:

- 1- Asegurar que en el depósito sólo entra agua procedente de las cubiertas. Si es necesario derivar la escorrentía procedente de otras áreas al cordón cuneta.
- 2- Limpiar el depósito.
- 3- Instalar un filtro a la entrada para que retenga las partículas arrastradas desde el techo.
- 4- Mantener el punto de desfogue del depósito para sueltas de caudal en caso de necesitarse.
- 5- Instalar un sistema de suelta controlada de caudal como una válvula automatizada.
- 6- Instalar un punto de salida por bombeo del caudal para el riego del muro verde.
- 7- Acondicionar el sistema automático de riego trasladando la bomba a la nueva ubicación y derivar el sistema de tubos.

Pavimento permeable

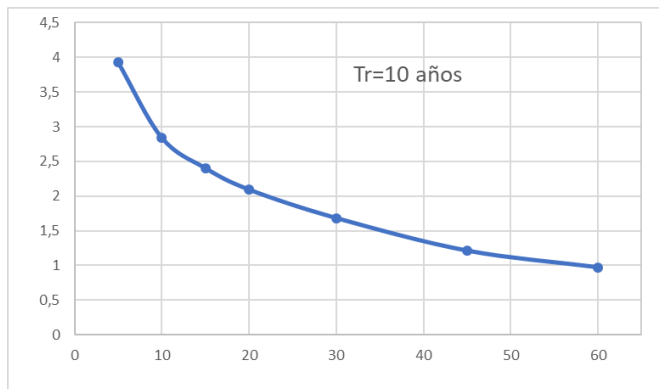
El objetivo de este ejemplo es cumplir con las restricciones definidas por OPAMSS para la obtención del permiso de Factibilidad de Aguas Lluvias para el espacio delantero de una casa/lote. Ese espacio será en una parte verde de grama y un parqueo. Y el caudal máximo que puede salir de ahí para una tormenta de período de retorno de 10 años son 0,5 l/s.

1- Caracterización de la zona de proyecto:

El espacio ocupa un total de 38,5 m² distribuidos en 17,7 m² de parqueo permeable y 20,8 m² de zona con grama.

Se ha realizado un ensayo para conocer la permeabilidad del terreno donde se ubican y es de sólo 36 mm/hora, un valor muy bajo, pero por encima de recomendaciones internacionales que tienen el límite para poder realizar la infiltración entre 13-15 mm/h.

Los datos pluviométricos empleados son los de la estación más cercana, Boquerón.



Intensidades en milímetros/minuto para una tormenta de un período de retorno de 10 años y una hora de duración. Fuente: Elaboración a partir de los datos de la estación Boquerón

2- Creación del modelo SUDS

Puesto que, aunque es baja, la capacidad de infiltración del terreno lo permite, una opción viable para cumplir con el objetivo es instalar pavimento permeable, más específicamente, concreto permeable. Pero, en su dimensionamiento se debe incluir un factor de seguridad en relación con la capacidad de infiltración del suelo.

Caudal entrante de buena calidad	Con mantenimiento	1
	Sin mantenimiento	0,75
Caudal entrante de mala calidad	Con mantenimiento	0,5
	Sin mantenimiento	0,33

Factores de seguridad en función de la calidad de agua entrante y las previsiones de mantenimiento. Fuente: Minvu

Al tratarse de un parqueo, seguramente se acumularán restos de aceites, carburantes en la superficie, por lo que el agua infiltrada sería de mala calidad, por ello se recomienda que se haga mantenimiento, con lo que, se considerará un factor de reducción de 0,5, es decir una reducción de la capacidad del suelo de permitir la infiltración de la mitad. Esto es por posibles colmataciones que puedan ocurrir por el lixiviado de las partículas de arrastre de escorrentía.

Como hipótesis de partida, además se considera:

- No hay traspaso de escorrentía desde la zona verde o con grama del patio delantero al parqueo permeable. Se va a emplear concreto permeable, por lo que se evitará potenciar la entrada de escorrentía que pueda arrastrar partículas de suelo o vegetación. Por ello, el volumen a retener será exclusivamente el que se generaría sobre el concreto, de manera que el volumen máximo saliente (suma de caudales de la zona verde de grama y del concreto permeable) nunca supere el límite de 0,5 l/s.

- La capa de almacenamiento es la subbase, aunque la capa superficial sea de concreto permeable y porosa, se procurará que no permanezca sumergida en agua por periodos prolongados de tiempo puesto que el estancamiento del agua puede provocar la deposición de sólidos disueltos en los poros. Aunque a efectos de cálculo, sí que se tendrá en cuenta de que la escorrentía se generará en el parqueo cuando el concreto permeable tenga los poros completamente saturados.
- La base de la capa de almacenamiento es horizontal, la pendiente que se plantea para que la superficie del patio delantero drene al condón cuneta es del 0,5% de manera que, para conseguir esa pendiente en superficie, se aumentará el espesor de la superficie en el extremo más alejado del cordón cuneta sobre el valor de estimado para la superficie (nunca reducir porque en suelos inclinados se pierde capacidad de almacenamiento).

Estimación del volumen de retención

La estimación del espesor de la capa de almacenamiento se ha realizado en base a los caudales que exceden del límite impuesto. Considerando los coeficientes de escorrentía típicos de 0,7 para el concreto permeable y 0,3 para la grama, los volúmenes a almacenar son:

T	Intensidad	Q _{max} en pavimento permeable	Q _{max} de área externa con grama	Q _{max} generado en el patio delantero	Q _{max} previsto en pav. permeable	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,81	0,41	1,22	0,09	216,08
10	2,84	0,59	0,29	0,88	0,20	114,55
15	2,4	0,50	0,25	0,75	0,25	73,56
20	2,09	0,43	0,22	0,65	0,28	44,68
30	1,68	0,35	0,17	0,52	0,33	6,49
45	1,21	0,25	0,13	0,38	0,25	0,00

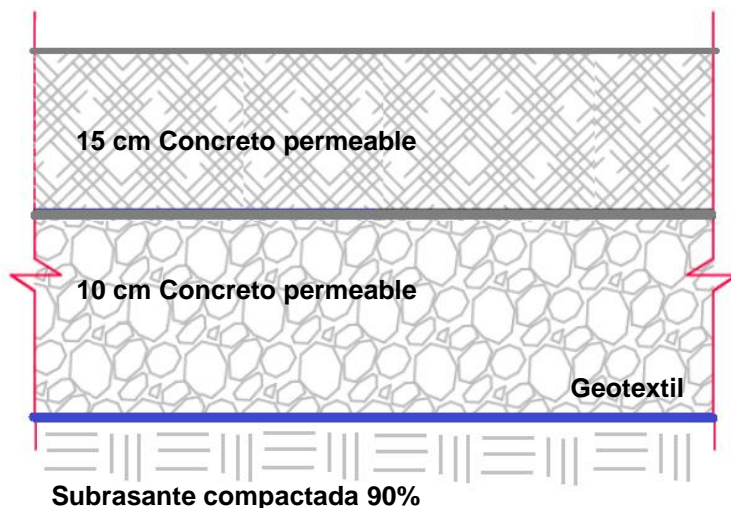
T	Intensidad	Q _{max} en pavimento permeable	Q _{max} de área externa con grama	Q _{max} generado en el patio delantero	Q _{max} previsto en pav. permeable	Excedente a almacenar (l)
60	0,97	0,20	0,10	0,30	0,20	0,00
TOTAL A ALMACENAR (litros)						455

- T (minutos): Minutos transcurridos desde el inicio de la tormenta de diseño que es una hora de duración y un TR de 10 años
- Intensidad (mm/min). Intensidad de la pluviometría en márgenes de tiempo (al principio cada cinco minutos y luego cada 15)
- Q_{max} en pavimento permeable (l/s): Caudal que se genera en la superficie permeable, parte de este caudal será el que se acumulará e infiltrará
- Q_{max} de área externa con grama (l/s), caudal formado en las franjas con grama
- Q_{max} (l/s) generado en el patio delantero, suma de Q_{max} en pavimento permeable y Q_{max} de área externa con grama
- Q_{max} previsto en pav. permeable (l/s), caudal máximo que puede salir del parqueo permeable para cumplir con el objetivo de proyecto
- Excedente a almacenar (l) Volumen a acumular para que no se generen más de 0,5 l/s en el patio delantero

Sección del parqueo permeable

Como la extensión a almacenar es de 17,7 m² con unos pocos centímetros de espesor se puede alcanzar ese volumen.

La sección básica del parqueo permeable propuesto consiste en tres capas principalmente, el concreto permeable poroso con un espesor de 10 cm, el geotextil que envuelve las gravas y la capa de gravas con 10 cm de espesor también. Con estas dimensiones y considerando que toda la superficie del parqueo será de concreto permeable, hay capacidad suficiente para retener el excedente de caudal.



Sección del parqueo del ejemplo

Las dimensiones y características hidrológicas/hidráulicas del parqueo, son:

Área total de la superficie permeable (m ²)	17,7
Ancho del parqueo (m)	3
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor capa almacenamiento- subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento- subbase %	0,3

Volumen de huecos total disponible (m ³)	0,93
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	0,46

3- Proyecto SUDS

Definidas las dimensiones, se debe comprobar que la salida del excedente de caudal desde la superficie de concreto permeable se produce de forma segura en forma de lámina de agua.

Características del flujo de salida del excedente de caudal	
Q (l/s)	0,325
Ancho del parqueo (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
Nivel "Normal" (m)	0,002
Nivel "Crítico" (m)	0,001
Velocidad "normal" (m/s)	0,06
Velocidad "crítica" (m/s)	0,10
Froude	0,46
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Y las características de los elementos comerciales a emplear en la construcción:

Concreto permeable. Características

Áridos: tamaños entre 5 y 19 mm
Porcentaje de vacíos: 15-30%
Alta Permeabilidad: 81-330 L/min/m ² (15-30% vacíos)
Resistencia a flexión: 15-20 kg/cm ²
Resistencia a compresión: 80-180 kg/cm ²
Densidad: > 1,500 kg/m ³
Contracción: 200E-06
Contenido de Cemento: 250-400 kg/cm ²

Características del concreto permeable a emplear. Fuente: Holcim.

Gravas de subbase/capa de almacenamiento. Características

Capa de piedra redondeada de 20/40 mm

Gravas de subbase/capa de almacenamiento. Características

Textil no tejido compuesto 100%
Punzonado estático: 1,5-2KN;
Abertura característica: 60-150 µm;
Permeabilidad vertical 100-130 mm/s;
Masa por unidad de superficie: 125-160 g/m ²
Alargamiento a carga máxima 55-75% en ambas direcciones.

Características del geotextil a emplear.

MÓDULO 5. Anexos

Hojas de control para la presentación de proyectos

Hoja de control para proyectos inferiores a los 500 m²

Nombre del proyecto			
Fecha de presentación			
Presentado por (proyectista/inversionista):			
Contenido del informe			
	Se incluye	No se incluye	Comentarios
Plano con localización de los SUDS			
Cálculo de caudales y volúmenes a gestionar a partir de los datos pluviométricos de la estación más cercana			
Si hay infiltración: descripción del ensayo realizado y resultados			
Dimensionamiento de los SUDS empleados y comprobación hidráulica de su funcionamiento			
Ficha de cada uno de los SUDS proyectados			
Plano de detalle de cada SUDS			
Ficha técnica de los materiales a emplear			

Hoja de control para proyectos superiores a los 500 m²

Nombre del proyecto			
Fecha de presentación			
Presentado por (proyectista/inversionista):			
Contenido del informe			
	Se incluye	No se incluye	Comentarios
Estudio hidrológico			
Plano con la de limitación de las cuencas urbanas y áreas de aportación			
Estudio geotécnico realizado por un laboratorio competente			
Cálculo de caudales y volúmenes a gestionar a partir de los datos pluviométricos de la estación más cercana			
Si se propone infiltración: Resultados del laboratorio competente de la permeabilidad del suelo			
Dimensionamiento de los SUDS empleados y comprobación hidráulica de su funcionamiento			
Plano con localización de los SUDS y sus áreas de aportación			
Ficha de cada uno de los SUDS proyectados			
Ficha técnica de los materiales a emplear			
Plano de detalle de cada SUDS			
Otros ensayos realizados			
Otra información no incluida en la lista			

A modo de ejemplo se muestra un prototipo de ficha técnica de un SUDS, otros se pueden ver en la Guía Técnica.

Franjas filtrantes

Condicionantes externos

Área de aportación (m ²)	
Pendiente del terreno %	
Caudal a gestionar (m ³)	
Precipitación de diseño (Tr 10 años)	

Pretratamiento

Canal de gravas	Sí
	No

Otro	Sí
	No

	Canal de grava
Longitud (m)	
Ancho (m)	
Pendiente (m/m)	
Pendiente talud (H/V)	
Q _{entrada} (m ³ /s)	

Dimensiones capacidad y

Entrada al sistema

Entrada en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Lámina ingreso				

Sistema

Materiales empleados		Tipo de vegetación	
Geolámina		Mixtura de plantas	
Geotextil		Vegetación nativa	
Otros		Otro, especifique	
Ninguno			

Ancho (perpendicular al flujo) (m)		n Manning	
Largo (paralelo al flujo) (m)		Q (m ³ /s)	
Pendiente (m/m)		Altura lámina de agua (mm)	
		Q (m ³ /s)/metro lineal (perpendicular al flujo)	

Salida del sistema

Salida del sistema	
Cordón cuneta	
Medio natural	
Otro SUDS	

A continuación se menciona y se pone un ejemplo de lo que el usuario puede encontrar en los Anexos de la “Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS”.

Dónde solicitar información

DATOS DE PARTIDA	ENTIDAD FACILITADORA
Pluviometría	MARN
Topografía/Planos catastrales	CNR
Geología	CNR/ sondeos realizados por proyectista/constructor cuando sea requerido
Redes de drenaje existentes	MOP
Plano niveles piezométricos/Riesgo contaminación acuíferos	MARN/ANDA/OPAMSS
Plano usos del suelo	OPAMSS
Permeabilidad del suelo	Ensayos específicos Laboratorio cualificado
Características hidráulicas de los elementos de drenaje	Distribuidores y fabricantes
Especies vegetales a plantar	Jardín Botánico de La Laguna/ El Salvador Green Building Council

Cómo hacer un ensayo de permeabilidad del terreno

En zanjas: Métodos de Porchet y del BRE Digest 365, ‘Soakaway Design’

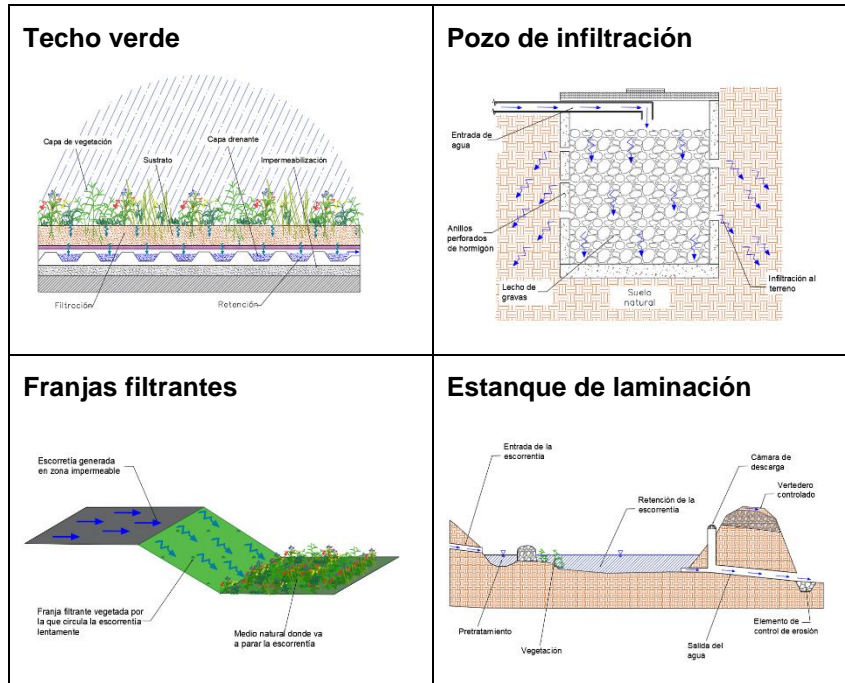
Estas metodologías consisten básicamente en excavar una zanja en el terreno de la profundidad del SUDS proyectado (entre 1 y 3 metros aproximadamente si no está definido en el momento del ensayo), llenarla hasta un punto determinado de agua y medir el tiempo de infiltración en suelo seco y después de haber absorbido toda el agua de un primer ensayo para conocer el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de saturación.

Determinación de la tasa de infiltración del concreto permeable Método de ensayo según norma ASTM C1701/C1701M-09

Este es un ensayo que hay que realizar in situ para comprobar que la permeabilidad del pavimento permeable se corresponde con la de diseño y permite medir la capacidad permeable del concreto.

Secciones tipo

Ejemplos



Herramientas

Existen varios software que pueden ayudar al proyectistas en la realización del diseño y dimensionamiento de SUDS.

XPDRAINAGE

Es un software de pago de la casa Innovyze y XP-Solutions de diseño automatizado, integra gran cantidad de SUDS y permite obtener las relaciones de tren o cadena de drenaje más efectiva. Web de la casa: <http://innovyze.com/products/xpdrainage/>

Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation - Music

Music es un software de la casa *Evolving water management, eWater*, que ayuda en el diseño y planificación de sistemas de gestión sostenible del agua en las ciudades. Permite trabajar con una dilatada gama de tamaños de cuencas y da la opción de realizar comparaciones con diseños alternativos para analizar las mejores opciones tanto en lo referente a la hidrología, a la gestión de la contaminación como a los costes. Es un programa de pago, pero para probarlo, existe una versión de prueba gratuita para 21 días que se puede descargar en el siguiente enlace: <http://ewater.org.au/products/music/access-licensing/>

Stormwater Management Model- SWMM

El programa Storm Water Management Model (SWMM), elaborado por la EPA (United States Environmental Protection Agency) es un software muy completo, capaz de simular el movimiento del agua de precipitación y los contaminantes por el suelo, tanto la escorrentía superficial como la infiltración que se produce hacia el subsuelo; y a través de las redes de colectores y canales que transportan el agua hacia instalaciones de almacenamiento y/o tratamiento. Su principal inconveniente es la inexistencia de vínculos GIS. Se puede descargar y

usar de forma gratuita en: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

System for Urban Stormwater Treatment and Analysis IntegratiON (SUSTAIN)

SUSTAIN es un sistema complejo que combina los sistemas de información geográfica con la modelación hidrológica. En lo referente a este último punto, al ser un programa de la EPA, emplea los algoritmos de cálculo del software SWMM. Se trata de una herramienta de apoyo de decisión que ayuda a los profesionales de la gestión de aguas pluviales con el desarrollo de planes de ejecución y control de caudales y la contaminación asociada, con el objetivo de tomar las medidas pertinentes para proteger las aguas en origen y cumplir con los objetivos de calidad de agua. Desarrollo de un plan de instalación gradual de SUDS teniendo en cuenta una la curva de coste-efectividad. Se puede descargar gratuitamente de: <http://www.epa.gov/water-research/system-urban-stormwater-treatment-and-analysis-integration-sustain>

Pero se necesita de un programa específico GIS de pago (Arc GIS)

Fichas de mantenimiento

Ejemplo de una ficha de revisión de un pavimento permeable.

Elementos de inspección	Estado			Comentario
	Bueno	Mínimamente aceptable	Malo	
Inspección general				
Estado del acceso para tareas de inspección y mantenimiento				
El área está limpia (no hay basuras, sedimentos ni restos vegetales)				
El concreto es estructuralmente sólidos, sin grietas.				
No hay evidencia de estancamiento de agua durante mucho tiempo.				
Estado general de la superficie				
Si hay hierba alrededor, ¿en qué estado está? ¿Segada? ¿Hay restos de la siega?				
La estructura parece estar funcionando correctamente, sin sedimentaciones en la superficie.				
El pavimento no está al lado de zonas con suelo suelto que pueda alcanzar su superficie.				
El sistema de desagüe está limpio y no hay signos de obstrucción (si corresponde).				
Resultados				
Condición general en la que se encuentra el concreto permeable				
Comentarios adicionales				