



MÓDULO 2

El proceso de diseño de SUDS en el AMSS



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

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

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)”.



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

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



CAPÍTULO 2

El proceso de diseño de SUDS en el AMSS



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

El proceso de diseño de SUDS en el AMSS

El objetivo de este Módulo es mostrar al usuario los pasos a seguir en el diseño de los sistemas urbanos de drenaje sostenible de forma clara y esquematizada para que pueda incorporarlo a su proyecto cumpliendo con las pautas establecidas en la “Ley de desarrollo y ordenamiento territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños” y facilitar la obtención de los puntos e incentivos fijados en la guía HAUS para la construcción sostenible.

El contenido de este Módulo se divide en los siguientes capítulos:

- 1- Objetivos de diseño de los SUDS
 - a. Criterios básicos de diseño
- 2- Fase 1 del diseño: Caracterización de la zona de proyecto
 - a. Datos de partida
 - b. Estudio y análisis de las características de la zona de proyecto
 - i. Análisis de las potenciales zonas de infiltración
- 3- Fase 2 del diseño: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje
 - a. Los Sistemas de gestión sostenible de aguas lluvia
 - b. Establecimiento de una cadena de drenaje
 - i. Eslabón 1: Prevención
 - ii. Eslabón 2: Control en origen
 - iii. De un eslabón a otro. Sistemas de transporte
 - iv. Eslabón 3: Control local
 - v. Eslabón 4: Control regional
 - c. Optimización de la cadena de gestión
 - d. Resultados obtenidos en la primera mitad del proceso de diseño
- 4- Fase 3 del diseño: El proyecto SUDS
 - a. 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.
 - b. Paso 2: Acercamiento al proyecto constructivo.
 - i. Definición de las tareas de Mantenimiento

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

- c. Paso 3: Creación de un modelo de simulación SUDS
- 5- Informe final de diseño
- 6- Principios básicos de diseño

El proceso de diseño de SUDS en el AMSS



Figura 2. 1. Fases generales en el diseño de un sistema de drenaje urbano sostenible.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

El objeto de este módulo es mostrar cómo se hace una gestión sostenible de las aguas lluvias mediante una cadena o tren de drenaje. Para ello se muestran los pasos a seguir en cada una de las fases de diseño.

El comienzo de un proyecto donde se va a implantar uno o varios SUDS se inicia con un estudio del lugar. El nivel de datos a recopilar y los análisis necesarios dependerán de la envergadura del proyecto, no se requerirá lo mismo para una casa con parcela que para un proyecto de parcelación o construcción de una urbanización.

Para el primer caso, es decir, áreas inferiores a los 500 metros cuadrados, tanto obra nueva como remodelaciones, la información mínima de partida sería:

- Pluviometría
- Plano catastral
- Plano constructivo del proyecto
- Ensayos de permeabilidad (si se va a realizar la infiltración)
- Normativa y legislación que aplique

Y los estudios básicos a realizar serían:

- Cálculo de caudales
- Estimación de los potenciales volúmenes de infiltración
- Evaluar que se respetan colindancias vecinales y la presencia de taludes cerca de la zona de estudio

Este nivel de análisis se emplea para sistemas de control en origen, aquellos que gestionan las aguas lluvias ahí donde caen evitando en algunos casos que se produzca.

Para proyectos de mayor envergadura, aquellos que pueden producir un impacto hidrológico más severo, requerirán de la información y análisis propuestos en el capítulo 4 de esta Guía.

El proceso de diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco



CAPÍTULO 3

Objetivo de diseño de los SUDS



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Objetivos de diseño de los SUDS

Antes de proceder al diseño de cualquier elemento de drenaje hay que establecer cuál es el principal objetivo que deberá cumplir dicho elemento, que suele ser minimizar los riesgos derivados de la escorrentía urbana (inundaciones) y evacuarla de manera segura hacia un punto de vertido.

Los SUDS, al ser elementos multifuncionales, además de perseguir el objetivo proteccionista de disminuir el riesgo de inundación dentro de los municipios, pueden ser útiles para la consecución de otros objetivos de diferente naturaleza (de calidad, de mejora paisajística, de adaptación al cambio climático, etc.).

A continuación, se exponen algunos posibles objetivos que pueden cumplir los SUDS en el AMSS:

- Hidrológicos, reducir la escorrentía generada en los cambios de usos del suelo. Cuando se urbaniza sobre un terreno natural, se impermeabiliza el suelo aumentando el caudal potencial tras una tormenta. Un objetivo del establecimiento del SUDS puede ser contrarrestar este efecto para que la urbanización no produzca grandes cambios en la generación volúmenes de aguas lluvias.
- Hidráulicos, muchas de las redes del AMSS han quedado obsoletas y no siempre son capaces de transportar todo el caudal de escorrentía, provocando inundaciones por incapacidad. Uno de los propósitos de implantación de los SUDS es la gestión de este excedente, la laminación de los caudales punta para que el sistema existente no colapse y que no circulen caudales que pueden poner en peligro la integridad de bienes y personas por las calles.
- Mejora de la calidad del agua. Otro de los motivos por los que es útil implantar SUDS es evitar que, tanto al medio natural como a la red de colectores, lleguen partículas que puedan perjudicar los ecosistemas, en caso de vertido en aguas naturales, o depositarse en los tubos reduciendo su sección útil.
- Reducir la erosión en cauces. El AMSS está atravesado por varios ríos y quebradas a las que se vierte directamente aguas lluvias. Estas descargas se realizan en puntos localizados y provocan la erosión la solera y laterales de los cauces, lo cual puede provocar desprendimiento de terreno. Los SUDS pueden

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

emplearse en este caso para reducir la energía con la que se desagua la escorrentía y minimizar el riesgo de erosión.

- Económicos, minimizar el coste de las infraestructuras de drenaje existentes o en proyección. Como ya se ha mencionado, los SUDS retienen partículas que pueden colapsar la red o provocar otros perjuicios, estas partículas se pueden retener en SUDS, así se alarga la vida útil de la infraestructura y se reducen los requerimientos de mantenimiento.
- Captación de agua para consumo. El aprovechamiento del agua de lluvia es muy frecuente en zonas rurales, también puede realizarse dentro del AMSS.
- Paisajísticos, puesto que muchos SUDS tienen valor estético, parecen arriates o zonas verdes, pueden implantarse con objeto de mejora paisajística capaz de optimizar la gestión del agua del entorno donde se ubican.

Aunque son múltiples los objetivos que puede perseguir el proyecto, el más importante de todos es el control de la escorrentía, por lo que los pasos de diseño están enfocados a la consecución de objetivos hidráulicos-hidrológicos, lo que no quita que se puedan adoptar otros objetivos secundarios, como la mejora paisajística, captura de CO₂ o el incremento de la resiliencia al cambio climático.

a. Criterios básicos de diseño

Tras el establecimiento de los objetivos de diseño, los proyectistas deben considerar algunos criterios básicos que orientan las soluciones de drenaje de aguas lluvias de la zona a urbanizar:

- Respetar lo impuesto en la normativa referente al drenaje en el AMSS.
- Evitar la inundación de calles y bienes para el período de retorno preestablecido de 10 años.
- Minimizar los riesgos derivados de la ocurrencia de tormentas con un mayor periodo de retorno que el establecido en la legislación.
- Si se trata de una nueva urbanización en terreno natural, el proyecto no debe generar mayores caudales máximos que los que se producían antes de urbanizar o los establecidos por OPAMSS.

Objetivo de diseño de los SUDS

- Respetar el sistema de drenaje natural de la zona, el trazado de las quebradas y cauces naturales existentes. En lo posible incorporarlo a las áreas verdes para ser utilizado como drenaje del lugar, minimizando los impactos de la urbanización sobre el sistema natural de la cuenca hacia aguas abajo.
- Atender a los lineamientos establecidos por la autoridad ambiental competente.

Hoja dejada intencionadamente en blanco



CAPÍTULO 4

Fase 1 del diseño: Caracterización de la zona de proyecto



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Fase 1 del diseño: Caracterización de la zona de proyecto

La selección y diseño de los SUDS es un proceso multidisciplinar que no está limitado a un área de especialización, por lo que en la caracterización de la zona donde se va a implantar un proyecto que los contenga, hay que examinar factores de variada naturaleza.

b. Datos de partida

Los datos de partida necesarios para el diseño de un sistema de gestión sostenible de pluviales dependerán de la envergadura del proyecto. A continuación, se enumeran los básicos, aunque para pequeños proyectos, gestión de agua de cubiertas de pequeña extensión o del patio trasero de una casa, no harán falta todos.

i. Normativa y recomendaciones

Es la normativa actual la que define algunos de los parámetros a emplear en el diseño de las infraestructuras de drenaje urbano. En caso de nuevas urbanizaciones o remodelación de un espacio ya urbanizado, para poder aprobar el trámite de *Factibilidad de Aguas Lluvia*, es decir obtener el punto de descarga de las aguas lluvias del proyecto, es requisito cumplir con el *Reglamento a la Ley de desarrollo y ordenamiento territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños de COAMSS*, donde vienen especificado los criterios de lluvia de diseño para proyectos urbanos: $Tr=10$ años, que será el valor con el que se trabajará en esta guía, sin detrimento de considerar otras precipitaciones en el diseño de algunos de los componentes *SUDS*.

Asimismo, en el *Instructivo Trámites Previos* para la obtención de permisos, donde se ubica la factibilidad de drenaje de aguas lluvias, se establecen los puntos que ha de contemplar el proyecto, como los relativos al estudio topográfico o las parcelaciones, que también servirán de base para el análisis previo para la implantación de *SUDS*.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

En lo relativo a la calidad del agua, si bien está el *Reglamento Técnico Salvadoreño* de “*Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor*” RTS 13.01.05.18, éste no aplica a las aguas lluvia que pueden verterse directamente. Sin embargo, conviene señalar que suelen llevar una alta carga de partículas sólidas arrastradas así que en la medida de lo posible, se intentará generar un tren de drenaje con elementos capaces de retener parte de los contaminantes para evitar la degradación de las quebradas naturales.

ii. Precipitación

El punto de partida de cualquier elemento de drenaje urbano son los datos de precipitación. Estos datos los proporciona la autoridad competente de meteorología e hidrometría (actualmente *MARM*), encargada de gestionar la red de estaciones de medición meteorológica. Los datos mínimos necesarios a solicitar son los referentes a las máximas lluvias diarias o las curvas IDF de la estación más cercana a proyecto, teniendo en cuenta que de mayor cantidad de registro de datos son las de Ilopango y la de Procafé y que la intensidad de precipitación es muy variable según localización dentro de la misma Área Metropolitana.

Recordando lo visto en el Módulo 1, estos sistemas tratan de imitar la hidrología pre-desarrollo urbanístico caracterizada por absorber la mayor parte de las precipitaciones frecuentes, retardando y reduciendo la escorrentía. Por ello en muchos lugares se emplea la metodología conocida como “*Small Storm Hydrology*”, enfocada a la gestión de los eventos pequeños y frecuentes, que ya no parte de precipitaciones máximas, sino de registros diarios en secuencias de diez minutos, datos que también se pueden obtener desde la autoridad competente.

iii. Topografía

La topografía a emplear ha de tener la escala adecuada. Puesto que los *SUDS* son obras de microdrenaje la escala mínima de trabajo recomendada para la delimitación de las cuencas urbanas es de 1:1000, pero lo recomendable es realizar un levantamiento topográfico in situ para tener el mayor detalle posible. Hay que tener en cuenta que la topografía natural se va a ver alterada durante

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

el proceso de urbanización, por lo que también es necesario disponer de las proyecciones previstas y la información de las cotas de los nuevos elementos.

iv. Infraestructuras existentes

Actualmente está inventariada y catalogada solo una parte de la red de aguas lluvia en el *AMSS* como parte complementaria a la *PESDPES* financiada por el *BID*. La información relativa a localización de pozos y tragantes de la zona de estudio o de la red donde acometerá el proyecto se han de solicitar en el *MOP*, a menos que se trate de una zona de la que no se tiene inventario. En ese supuesto, el titular del proyecto debe realizar el levantamiento de la red afectada, analizar la capacidad hidráulica de la misma y presentar a *OPAMSS* para su evaluación. Será completamente necesaria en aquellas remodelaciones de zonas ya desarrolladas o en nuevas urbanizaciones que conecten a la red existente.

v. Planos catastrales

Tanto los actuales como los que contemplen las modificaciones que conllevará la ejecución del proyecto de urbanización o reforma en el que se incluirán los *SUDS*. Los planos catastrales pueden solicitarse en el *CNR*.

vi. Planos de usos del suelo

Dentro del *AMSS* se pueden encontrar cuatro clasificaciones de uso de suelo: Urbano, Rural, Urbanizable y no Urbanizable. Aunque los *SUDS*, por definición se instalan en suelo urbano, no se limitan únicamente a esta clasificación, pudiendo instalarse en zonas rurales, industriales, comerciales.... Cada uso de suelo confiere unas características a la calidad de la escorrentía, por lo que antes de proceder a la selección de los *SUDS*, es necesario conocer el uso de suelo en el que se enmarca el proyecto, basado en mapa de tratamientos urbanísticos del Esquema Director. El tratamiento, aptitudes y estándares de usos del suelo de la zona de proyecto se definen en el trámite Calificación de Lugar en *OPAMSS* y su coste depende del municipio donde se ubique.

vii. Geología

La geomorfología del *AMSS* se caracteriza por su procedencia volcánica, componiéndose de materiales piroclásticos y efusivos surgidos de las erupciones

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

de la caldera de Ilopango y del volcán de San Salvador. Los estratos más relevantes que se encuentran en el área metropolitana son:

TB4	Pómez blanco caracterizado por tener una capa de lapilli y pómez con gradación normal.
G1	Pómez de caída vesiculado, de composición dacítico a andesítico proveniente de la erupción del volcán de San Salvador.
TB3	Pómez y cenizas de granulometría fina, blancas, con presencia de lapilli acrecional y flujos piroclásticos basales
TB2	Estrato de pómez bastante consolidado.
G2	Escorias poco vesiculadas que muestra mezcla de magmas con poca presencia de finos.
IB	Compuesto por dos flujos piroclásticos de color café oscuro con intercalación de oleadas piroclásticas de color café claro a pardo
PL	Producto de una erupción freatomagmática caracterizados por tener en la base lapilli andesítico vesicular gris
TBJ	Estrato compuesto por diferentes depósitos piroclásticos de caída y flujos de la última erupción explosiva de la caldera de Ilopango.

Tabla 4. 1. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: Cuestas I., Mejía C. (2019)

La mayoría de los municipios del AMSS están asentados sobre materiales piroclásticos, la denominada tierra blanca joven, y sobre efusivas ácidas, las tobas color café, ambas muy susceptibles a los movimientos de ladera y a la erosión. Lo cual a su vez origina problemas de derrumbes en época lluviosa o ante un sismo fuerte. Este es el motivo por el que es importante evitar que se produzcan infiltraciones en ese tipo de terreno.

Para conocer la clase de suelo en el que se va a ubicar un proyecto, se puede recurrir a los mapas que facilita el *Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)* y, en todo caso (en función de la envergadura del proyecto) es imprescindible que se realicen calicatas “*in situ*” para verificar que efectivamente no se proyecta ningún dispositivo de infiltración sobre ese tipo de suelo.

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

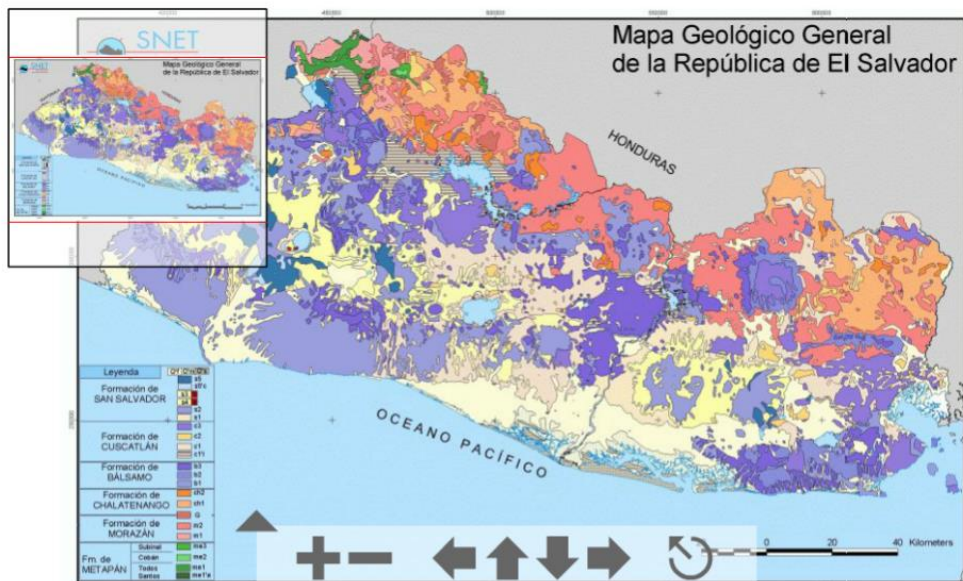


Imagen 4. 1. Fuente: Visor de <http://www.snet.gob.sv/ver/geologia/geologia+de+el+salvador/>

Tampoco hay que olvidar que en el AMSS se producen con frecuencia desprendimiento de laderas, muchas veces asociados a tormentas. Algunos SUDS fomentan la infiltración, con lo que el suelo se empapa, adquiere un mayor peso y si está cerca de un talud, éste puede desprenderse. Es recomendable descartar la zona de riesgo para la instalación de los SUDS desde comienzo de proyecto. Para ello se puede consultar el Anexo 22: “*Peligrosidad por dinámica superficial según geomorfología*” dentro del *Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS de OPAMSS*, lo que no excluye que se hagan estudios más exhaustivos sobre el terreno en caso de ser necesario.

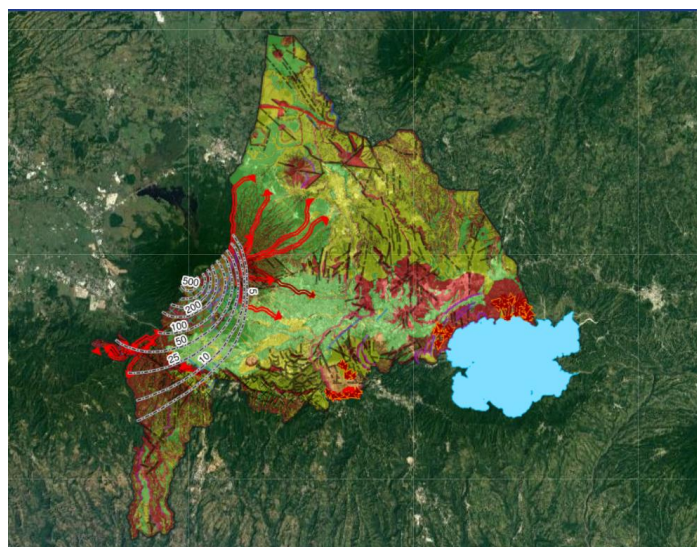


Imagen 4. 2. Fuente: Visor de <http://www.snet.gob.sv/ver/geologia/geologia+de+el+salvador/>

viii. Hidrología

Dentro del AMSS se distinguen dos regiones hidrográficas, la del Río Lempa (donde se encuentra el Río Acelhuate y sus afluentes) y la parte alta de la Región hidrográfica Mandinga Comalapa.

Actualmente son considerados como parte del macrodrenaje donde se puede descargar sobre ellos aguas negras y aguas lluvias de manera que han perdido gran parte de su valor ecológico; además, en muchos sectores se acumulan restos inertes de ripio y construcción que vuelven más complejo la gestión de este macrodrenaje. Una forma de mejorar el estado fluvial es procurando un tren de drenaje con capacidad para evitar erosiones en cauces y vertido de contaminantes.

Si el proyecto desagua en una quebrada o río, habrá que conocer la sección de los posibles puntos de vertido y las láminas de inundación para un período de retorno de 50 años o el determinado por OPAMSS.

Algunos SUDS superficiales no deben instalarse en localizaciones que se inundan con frecuencia a causa del desbordamiento de ríos y quebradas.

ix. Hidrogeología

Dentro de la zona que abarca el AMSS se encuentran dos sistemas acuíferos compuestos por materiales producto del vulcanismo joven existente interconectados entre sí.

Una unidad hidrogeológica está representada por un acuífero fracturado con intercalaciones de piroclastos y se localiza en el sector oeste del AMSS, bordeando las faldas del volcán de San Salvador y la cordillera del Bálsamo. La presencia de fracturas y fallas facilita la rápida transmisividad del agua, lo que puede ser ventajoso a la hora de instalar un pozo de extracción de agua para consumo. En contrapartida, puede suponer un problema en el caso de que entre agua contaminada al acuífero, ya que se extenderá rápidamente por él, pudiendo inutilizar alguno de los puntos de captación, o peor, causar un problema de salud pública.

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

Sector	Transmisividad promedio (m ² /día)
Centro y norte del Valle de San Salvador	1000 - 2000
Antiguo Cuscatlán	100 - 4000
San Marcos, Col. Militar, Col. La Cima	300 - 1000
El Angel, Apachulco, La Junta, Apopa	600
Sur del Valle de San Salvador 200	200
Las Margaritas, Soyapango	< 179
El Angel-Apopa, Col. Chintuc	35-50
Lirios del Norte	< 15

Tabla 4. 2. Acciones de monitoreo recomendadas. Fuente: Barrera M. (2010).

El otro sistema corresponde a un acuífero poroso formado por estratos intercalados de piroclastos, sedimentos principalmente aluviales y tobas fracturadas. La especial geología de este acuífero confiere heterogeneidad y anisotropía en sus parámetros hidrogeológicos, de manera que pueden existir pozos muy productivos cerca de otros que no permiten extraer grandes caudales. Esta unidad acuífera se ubica en la parte este, donde aflora un número considerable de manantiales y donde se encuentran importantes industrias que captan agua del acuífero.

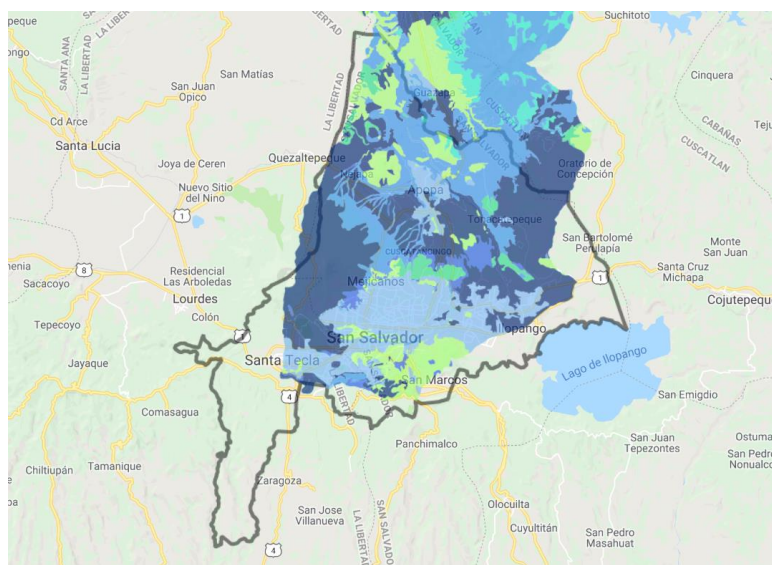


Imagen 4. 3. Plano de recarga del acuífero de la cuenca del Acelhuate: Fuente: <http://geoportelopamss.org.sv/om/index.php/view/map/?repository=01&project=0101anexo19>

La importancia de los datos hidrogeológicos deriva de que muchas de las técnicas SUDS emplean la infiltración para gestionar la escorrentía. Si esa escorrentía arrastra contaminantes y no es correctamente tratada puede alcanzar los acuíferos del AMSS desde donde se capta el agua para consumo

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

humano. Por ello, antes de proceder al diseño, se recomienda conocer a qué tipo de acuífero irá a parar la escorrentía y a qué distancia está.

Mientras la escorrentía va atravesando el subsuelo en la infiltración, muchas de las partículas que arrastra van quedando retenidas en los poros y recovecos. De hecho, este es el principio por el que el agua de manantial suele ser agua limpia, porque en su camino por el subsuelo, se han ido filtrando las diferentes partículas en suspensión.

Pero si la escorrentía lleva contaminantes y el trayecto para alcanzar el acuífero es corto, puede alcanzarlo creando un problema allí donde la transmisividad es alta. es decir, donde el flujo discurre con una rapidez tal que no permite la deposición de los contaminantes. En esos casos, aunque el agua contaminada alcance el acuífero en un punto lejano a la captación, ésta puede verse negativamente afectada en un breve período de tiempo.

Por motivos de seguridad, es aconsejable investigar la cota del nivel piezométrico, si éste varía estacionalmente, la localización de los pozos de extracción de la zona de estudio o proyecto y cuál será la distancia mínima a los pozos a la que podrá realizarse la infiltración. En caso de que no haya problemas al respecto, para la fase 3 del proceso de diseño, habrá que corroborar mediante estudio geotécnico la distancia a la que se encuentra el acuífero de la superficie y la permeabilidad del suelo en sus distintas capas.

Asimismo, comentar que dentro del *Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS*, específicamente en Anexos: 19, 20 y 21, se encuentran los mapas de recarga, vulnerabilidad y riesgos a la contaminación acuífera, para la cuenca del Río Acelhuate.

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

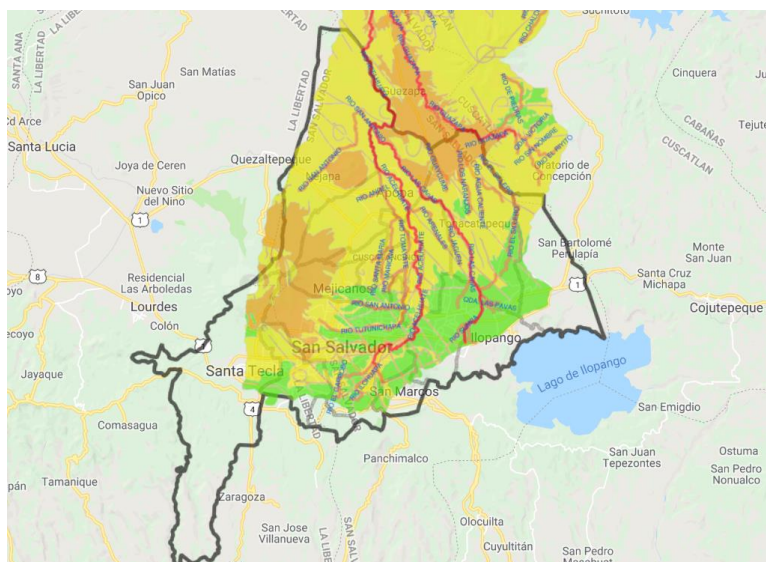


Imagen 4. 4. Fuente: Fuente:
<http://geoportalopamss.org.sv/om/index.php/view/map/?repository=01&project=0101anexo19>

x. Permeabilidad del suelo

En lo referente al diseño de *SUDS*, la importancia de la recopilación de datos de geología e hidrogeología van encaminados principalmente a determinar la capacidad de infiltración de la escorrentía en el subsuelo. Como ya se vio en el Módulo 1, algunas de las funcionalidades de los *SUDS* es infiltrar la escorrentía para la recarga de acuíferos, la reducción del volumen de escorrentía o de los caudales pico.

La mayor parte de los materiales litológicos del *AMSS* son de tipo permeable, como se aprecia en la tabla:

Materiales litológicos del AMSS	Calificación
Lava volcánica y escorias reciente	Permeable
Piroclásticos retrabajados	Permeable
Aluvión reciente, gravas, arenas y arcillas cerca de ríos	Permeable
Aluviones Consolidados	Semi-permeable
Cenizas volcánicas	Semi-permeable
Tobas con intercalaciones de Piroclásticos y Lavas	Permeable
Tobas, mezcladas con pómez y escorias	Semi-permeable
Lavas basálticas	Semi-permeable

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Materiales litológicos del AMSS	Calificación
Tobas volcánicas y aglomerados	Semi-permeable
Rocas volcánicas ácidas, riolítica	Impermeable
Tobas epiclásticas volcánicas y tobas ardientes	Impermeable

Tabla 4. 3. Tipos de suelo del AMSS según permeabilidad de acuerdo a su litología y capacidad de infiltración. Fuente: Bertoni (2005)

Pero, aunque las condiciones litológicas sean favorables en su mayor parte a la infiltración, es conveniente repetir que, en caso de que el proyecto se vaya a ejecutar sobre tierra blanca joven o tobas de color café, cuya permeabilidad puede ser idónea para la infiltración, no se podrá realizar por motivos de seguridad estructural.

A modo orientativo, en el siguiente esquema se muestran los coeficientes de permeabilidad de diferentes suelos según textura.

Coeficientes de permeabilidad (k) (m/s)		
10	Grava limpia	Infiltración rápida
10^{-1}		
10^{-2}		
10^{-3}	Arenas limpias/Arena limpia y mezcla de gravas	
10^{-4}		
10^{-5}		
10^{-6}	Arenas muy finas / limos orgánicos e inorgánicos/ Mezclas de arena, limo y arcilla / Depósitos estratificados de arcilla	Infiltración moderada
10^{-7}		
10^{-8}		
10^{-9}	Suelos impermeables como arcillas homogéneas o roca sin fisuras	Infiltración lenta (impermeable)
10^{-10}		
10^{-11}		
10^{-12}		

Tabla 4. 4.: Valores orientativos del coeficiente de permeabilidad para diferentes suelos. Fuente FAO

Los valores presentes en la tabla son generales y serán de utilidad para determinar la viabilidad de la infiltración, en el diseño conceptual (paso 2 del proceso de diseño). Pero para la creación del proyecto SUDS y según el tipo

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

(paso 3 del proceso de diseño), será imprescindible realizar ensayos de permeabilidad en el terreno. Los tipos de ensayos a realizar vienen especificados en los Anexos.

A modo de resumen se muestran algunos valores de permeabilidad obtenidos “in situ” de forma empírica para el Trabajo de Graduación de la Universidad de El Salvador titulado “*Análisis de la infiltración, escorrentía subsuperficial y tendencia direccional del movimiento del agua entre estratos de suelos del AMSS*”

ID Muestra	LUGAR	MUNICIPIO	DESCRIPCIÓN GENERAL	K (m/s)
M-1	Cantón El Carmen	San Salvador	Muestra de suelo compuesto por dos estratos, el superior por TBJ color gris claro y el segundo escoria meteorizada con color café oscuro.	$1.0572 \cdot 10^{-5}$
M-2	Cantón El Carmen	San Salvador	Muestra de suelo de un estrato de escoria meteorizada de color café bastante oscuro.	$1.3588 \cdot 10^{-7}$
M-3	Calle a Huizúcar	San Marcos	Estrato de arcilla de color rojizo, en la parte inferior del estrato presenta roca meteorizada.	$1.4835 \cdot 10^{-7}$
M-4	A un costado, en dirección Norte, de 75 av. Norte	San salvador	Estrato escoria meteorizada con presencia de óxido en la unión, con poca plasticidad de color café oscuro en la parte superior.	$8.0926 \cdot 10^{-7}$
M-5	Cumbres de Cuscatlán	Antiguo Cuscatlán	Muestra de suelo compuesto por un estrato de material bastante suelto, de consistencia porosa y color café claro.	$5.0734 \cdot 10^{-4}$
M-6	Alturas de Tenerife	Santa Tecla	Estrato de material de Plan de La Laguna, en su parte superior bastante duro y en la parte inferior suelo parecido a la escoria meteorizada de consistencia porosa color café oscura.	$2.0597 \cdot 10^{-7}$
M-7	Universidad de El Salvador	San Salvador	Muestra de suelo compuesto por dos estratos de TBJ, el superior de un color gris claro y el segundo con un color gris más oscuro, se presenta abundantes raíces y en la parte inferior se encuentra piedra pómez en descomposición.	$1.3154 \cdot 10^{-6}$
M-8	Jardines de la Sabana	Santa Tecla	Muestra de suelo compuesto por dos estratos, el superior por TBJ color gris pardo y el segundo denominado Flujo de Escombros con color café oscuro con poca humedad, este estrato posee mucha roca madre (Módulos de diámetros grandes) que está en descomposición por sectores.	$1.0497 \cdot 10^{-6}$

Tabla 4. 5. Características de muestras de estudios sobre permeabilidad del suelo en el AMSS. Fuente: Cuestas I., Mejía C. (2019)

xi. Especies y biodiversidad

Puesto que muchos SUDS son sistemas “vivos”, con vegetación, es interesante conocer cuáles son las especies más idóneas para plantar. En general, puesto

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

que se trata de imitar el ciclo natural del agua, lo ideal es emplear vegetación autóctona por varios motivos, principalmente:

- 1- Está adaptada a la climatología, a las lluvias y a los períodos de estiaje, lo que reduce las necesidades de mantenimiento. La temperatura media es de 20-22°C y se diferencian dos estaciones climáticas, la época seca (de noviembre a marzo) y la lluviosa (de abril a octubre); de manera que, según la clasificación climática de Koppen, el área del AMSS se ubica entre las sabanas tropicales calientes y las calurosas. Esto es determinante, ya que por un lado la vegetación ha de soportar la gran aportación de agua de la época lluviosa y la falta de la misma en los meses secos.
- 2- Favorece la inclusión de corredores verdes dentro del AMSS y sirve de hábitat para otras especies animales.
- 3- Hay que evitar introducir especies alóctonas que puedan acabar siendo invasoras.

Pero no siempre es factible disponer de vegetación autóctona puesto que está protegida y no se puede extraer del bosque, además en algunos casos no soportan bien las condiciones urbanas. Para facilitar la tarea del proyectista en la selección de vegetación a continuación, se enumeran las principales especies recomendadas para el AMSS por el Jardín Botánico de La Laguna

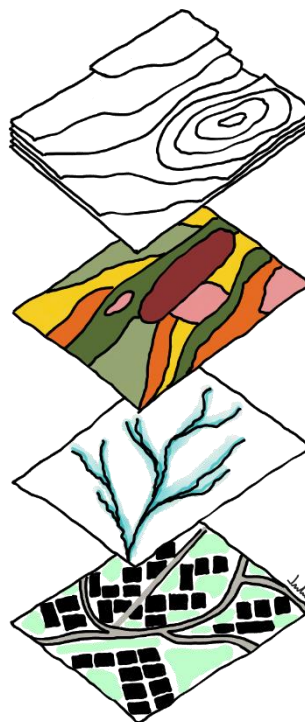
Árboles	Arbustos	Especies que permiten el encharcamiento:	Especies para zonas semihúmedas:
Copinol	Crotos	Papiros	Zacate Elefante
Pie De Venado	Schefleras	Tule	Pony
Nacazcol	Durantas	Helechos	Listones
San Andrés	Ixora Híbridas	Ginger	Gramas Chalatecas
Cacao	Brunfelsias	Ninfas	Japonesa
Teberinto	Suculentas De Gran	Aráceas	Bambú Enano
Cortez Blanco Y Negro	Tamaño Como Cactus Y Agaves		
Brasil	Cicas		
Maquilishuat			
Caoba			
Pepeto			

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

Además, el proyectista deberá tener en cuenta el reglamento existente respecto a la vegetación en arriates según “*Acuerdo No. 73 Instructivo para el cultivo de especies ornamentales en áreas urbanas*” de publicado en el Diario Oficial de El Salvador el 16 de Junio de 2004, y también, en la “*Guía para la Reforestación*” del MARN puede visualizar un listado con las especies arbóreas a incluir en las reforestaciones de áreas urbanas.

c. Estudio y análisis de las características de la zona de proyecto

Una vez recopilada la información, hay que proceder a su análisis, es decir a la caracterización de la zona de estudio o proyecto. En esta caracterización hay que tener en cuenta de que por un lado se evaluará la zona como está ahora y además cómo quedará con el desarrollo urbanístico.



i. Estudio del terreno

Los datos recopilados servirán para conocer mejor la naturaleza del lugar donde se va a ejecutar el proyecto, determinar las potenciales ubicaciones de los SUDS y evaluar los posibles riesgos que puedan surgir.

Parte de estos datos procederán ensayos. Éstos deberán ejecutarse acorde con el *Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS* que establece que se han de realizar por un laboratorio de geotecnia e ingeniería de materiales que cumpla con lo especificado en la norma.

ii. Establecimiento de los puntos de vertido

Se analizan las posibles rutas del agua a partir de la topografía, del catastro y de la localización de las infraestructuras existentes. La designación del punto de

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

vertido determinará las condiciones de contorno del posterior análisis hidrológico.

Dentro del AMSS se distinguen dos tipologías de vertido de aguas lluvia:

- Vertido directo a quebrada
- Acometida a la red de microdrenaje

En ambos casos, hay que solicitar a la OPAMSS mediante el trámite de Factibilidad de Drenaje de Aguas Lluvias la ubicación, las condiciones que definen al punto de vertido y el caudal máximo a descargar.

Por poner un ejemplo, si se va a enviar la escorrentía a un pozo que conecta con una red de drenaje, habrá que tener en cuenta su capacidad máxima, su estado y condición estructural y el aumento de presión hidráulica que supondrá el proyecto. Si se trata de una remodelación de una zona ya construida con su red de colectores, la inclusión de *SUDS* en la superficie supondrá una reducción del caudal punta, puesto que o se reduce la impermeabilidad del suelo o se retiene una parte del flujo que entra. Pero si se trata de una nueva urbanización que va a verter en la red existente de colectores, se va a introducir en la red un caudal extra para la que fue diseñada y puede causar problemas de incapacidad. Con *SUDS* se tratará de cumplir con el caudal máximo a descargar según lo defina la Factibilidad de Aguas Lluvia.

En los casos que se vierta directamente a quebrada, habrá que contemplar las posibles limitaciones que pueda establecer el *MARN* en referencia a la calidad de las aguas naturales. Las diferentes técnicas *SUDS* tienen capacidades de retención y eliminación diferentes por lo que en el diseño conceptual habrá que seleccionar aquella combinación de técnicas que mejor capacidad de tratamiento tengan en función de la tipología de los contaminantes que se prevea que pueda arrastrar.

iii. Establecimiento de los caminos del agua

Una vez analizadas las posibles rutas de la escorrentía y establecidos por parte de OPAMSS los puntos por donde ha de salir el agua en el área de proyecto, mediante la topografía y los planos catastrales se definirán los caminos del agua,

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

es decir, las vías preferentes por las que circulará el agua superficial tanto en la situación actual como en el caso de que se haga una propuesta de urbanización nueva (ya que modifica la superficie del terreno). Este paso facilitará la delimitación de las subcuencas urbanas.

iv. Pendientes

También habrá que tomar nota de las pendientes de la zona de proyecto, ya que un valor superior al 5% puede dificultar la implantación de alguna tipología de SUDS y, en líneas generales, el AMSS se encuentra en una zona con bastante desnivel, donde las pendientes predominantes oscilan entre el 10 y 20 por ciento.

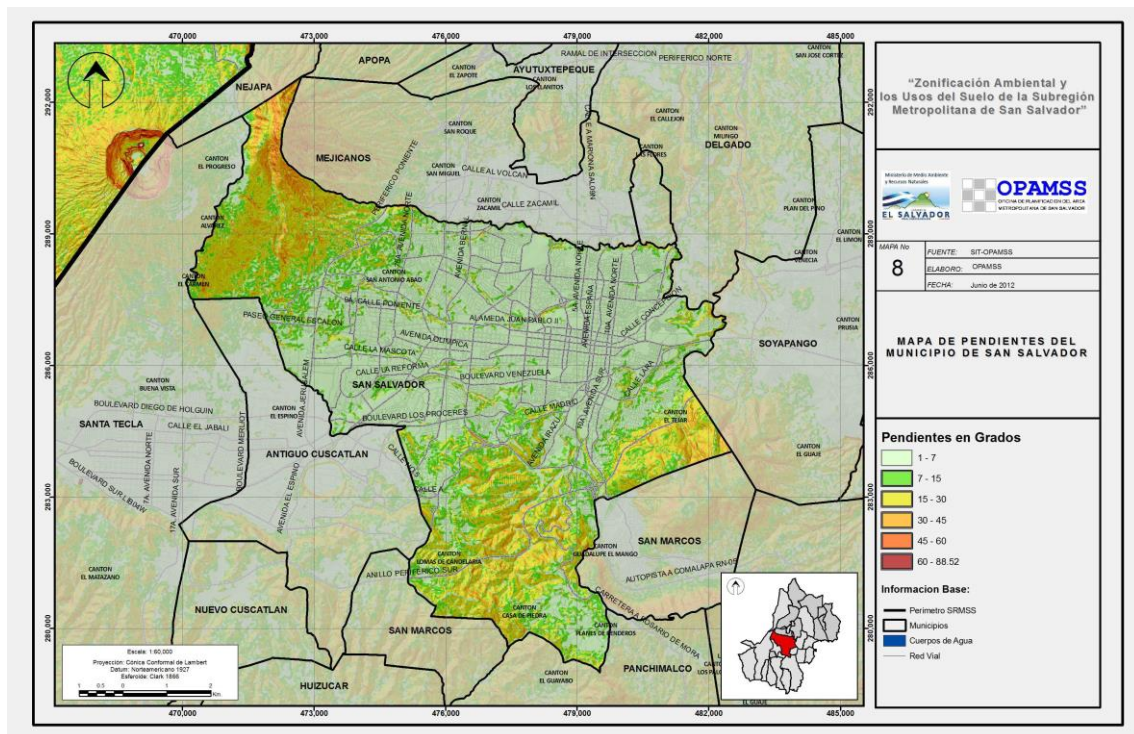


Imagen 4. 5. Mapa de pendientes de San Salvador. Fuente: MARN

La estimación de pendientes se realizará, para cada caso de estudio con la topografía de proyecto, en caso de que el proyecto de urbanización produzca una modificación de la superficie del terreno, habrá de contemplar además las nuevas pendientes. Generalmente, la obtención de los mapas de pendientes se

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

puede realizar de forma sencilla a partir de las curvas de nivel en formato shapefile .shp, empleando un software libre de GIS.

v. Análisis de las posibles zonas de infiltración

Infiltrando el agua de escorrentía como sucede en el nivel pre-desarrollo se consigue un mayor acercamiento al *IHC (Impacto Hidrológico Cero)*. Una vez conocida la geología del suelo donde se ubica el proyecto, se pueden establecer los potenciales puntos o áreas para realizar la infiltración. Para ello será necesaria que la permeabilidad en estos suelos sea como mínimo moderada-buena. Una permeabilidad baja puede afectar negativamente al funcionamiento de los SUDS.

Dadas las características físicas dentro del *AMSS*, es muy importante tener en cuenta los siguientes factores en la caracterización de la zona de estudio antes de proceder al paso 2 de diseño, donde se determinarán los *SUDS* a emplear, ya que suponen un impedimento para la correcta infiltración y puede causar situaciones de riesgo.

vi. Material geológico

Gran parte del suelo del *AMSS* se encuentra sobre tierra blanca joven y tolvas color café que, aunque tienen permeabilidades aptas para permitir la infiltración, al mojarse cambian su textura provocando problemas estructurales, por lo que sobre esos materiales no se deberá proceder a infiltrar la escorrentía.

Conviene resaltar que las cenizas volcánicas del suelo se pueden lavar con la infiltración, precipitando y acumulándose de forma que taponan los poros de zonas más profundas.

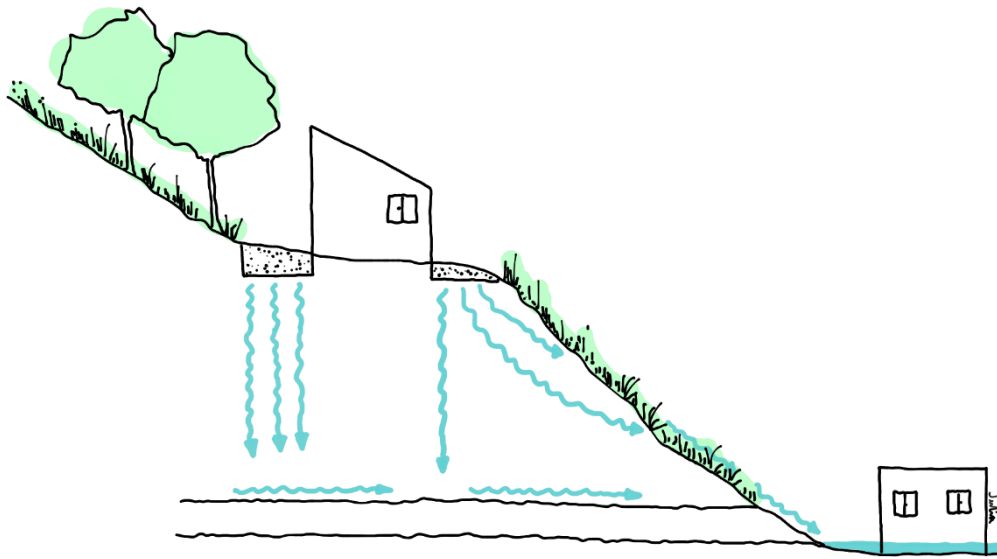
vii. Suelos inclinados

Si el suelo de la zona de proyecto tiene una pendiente superior al 5% (o 10% las limitaciones de pendiente dependen del *SUDS*) en la siguiente fase de diseño habrá que incluirlo para asegurar que las velocidades de la escorrentía dentro

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

de los sistemas de transporte se mantengan en unos límites que no produzcan erosiones ni la resuspensión de las partículas arrastradas.

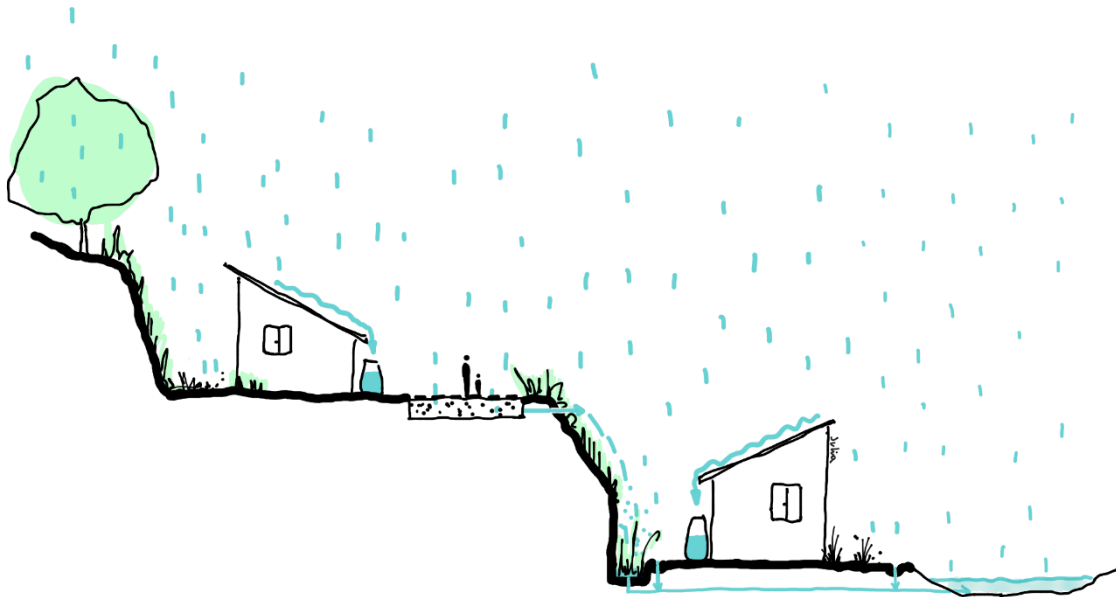
Otro riesgo que habrá que considerar es la posibilidad de que se genere una línea de manantial que brote aguas abajo. Para prevenir, habrá que analizar los datos geotécnicos de los ensayos realizados y, en caso de que el material del subsuelo pudiera conectar el agua a una salida pendiente abajo o que la circulación subterránea de la escorrentía infiltrada pueda alcanzar alguna infraestructura aguas abajo, no seleccionar un sistema de infiltración.



En las laderas con pendiente pronunciada donde se va a urbanizar, previamente se suele aterrazar. Las terrazas pueden propiciar la infiltración, pero en el AMSS se dan con frecuencia problemas de deslizamiento de laderas. Éstos se producen cuando el suelo, con el aumento de peso tras llenarse de agua sus poros, cae por gravedad pendiente abajo. Para evitar que esto suceda, no se colocarán los SUDS que conlleven infiltración en las coronas de los taludes, que deberán estar bien definidos en la topografía de la fase de desarrollo urbanístico.

Aunque no se recomienda la infiltración cerca de suelos con pendiente, en el caso de que se opte por realizarla, su impacto deberá ser evaluado por un laboratorio geotécnico competente que valore, entre otras cosas la distancia adecuada en función de la estabilidad y del flujo de agua subterránea, a la que debe colocarse el dispositivo de infiltración.

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto



viii. Cercanía a estructuras/edificaciones

Para evitar que la infiltración cause problemas de humedades o inestabilidades en los cimientos de estructuras o edificaciones y dada la tipología del terreno en el AMSS la distancia mínima recomendable a cualquier estructura desde un dispositivo de infiltración será de 5 metros. Aunque, para pequeñas instalaciones (pozos de infiltración de una vivienda) pueden situarse a una distancia inferior siempre que la capacidad de infiltración sea buena y se localice a una distancia mínima de cualquier estructura según tipo de suelo:

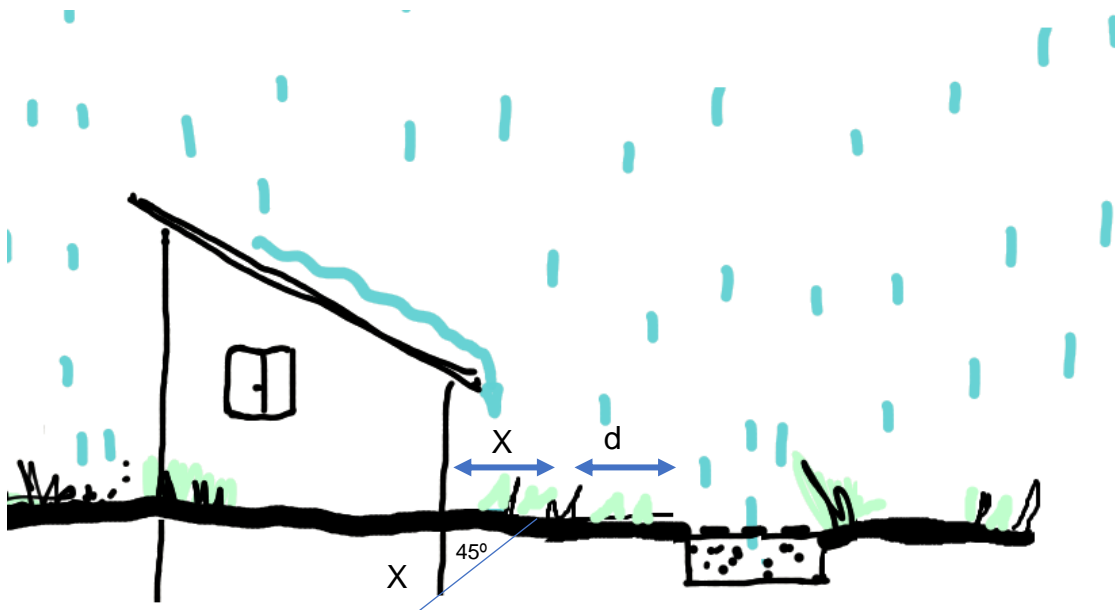


Figura 4. 2. Distancia mínima de un sistema de infiltración a una edificación $D=X+d$. Fuente: Adaptación de Stormwater Management Manual for Western Australia

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

La distancia total al sistema de infiltración será la distancia de seguridad (X) igual a profundidad de cimientos más la distancia que corresponda según textura del suelo.

Tipo de suelo	Distancia (d)
Arenoso y franco arenoso	1.0
Arcillo arenoso	2.0
Roca meteorizada	3.0
Arcillo limoso	No se recomienda instalación
Arcilloso	No se recomienda instalación

Tabla 4. 6. Distancias mínimas recomendables para la infiltración Fuente: Adaptación de Stormwater Management, Manual for Western Australia

ix. Análisis de la hidrología urbana

El ámbito de aplicación de los SUDS es, principalmente, las zonas urbanas. Aunque algunas de las técnicas pueden emplearse para el control de escorrentía en medios rurales, esta guía se centrará en la implantación de las técnicas de drenaje urbano sostenible en ciudades y municipios.

Al igual que la red de alcantarillado convencional, compuesta por pozos y colectores, estos sistemas se enmarcan en el drenaje secundario o micro drenaje. Es decir, no se ocupa de las inundaciones por desbordamiento de los cauces naturales o quebradas (macro drenaje) que atraviesan los municipios del AMSS durante las crecidas, provocadas por las precipitaciones de cuencas naturales de gran tamaño localizadas en zonas de gran pendiente.

Por tanto, los SUDS se analizan desde la perspectiva de la hidráulica urbana, que estudia la hidrología de las zonas urbanas y metropolitanas, en donde predominan las superficies casi impermeables y el relieve artificial de terreno, analizando en particular el efecto del desarrollo urbano.

El proceso de transformación de lluvia a escorrentía en zona urbana presenta una serie de particularidades derivadas del tipo de medio en el que se da, el urbano. La escala espacial de estudio de las cuencas urbanas es mucho más pequeña (del orden del kilómetro cuadrado) que la de un estudio hidrológico de cuencas naturales (hectáreas). Y en su definición además de la topografía hay que considerar los puntos de entrada a la red de drenaje artificial. Otras características importantes son la alta impermeabilización del suelo y el hecho

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

de que los diseños están pensados para la rápida evacuación de la escorrentía. Todo ello tiene como consecuencias:

- **Aumento de la escorrentía total:** A diferencia de lo que pasa en condiciones naturales, las pérdidas por evapotranspiración, interceptación vegetal, almacenamiento superficial e infiltración no son significativas respecto a la precipitación, por lo que casi toda la lluvia se transforma en escorrentía, aumentando su volumen.
- **Distribución temporal más rápida:** Los pavimentos, cunetas y colectores conducen el agua más rápidamente que lo hacen las superficies naturales. Esto, sumado eventualmente a obras de rectificación y limpieza de los canales naturales, aumenta la velocidad del flujo, originando tiempos de base más cortos.
- **Mayores caudales y niveles pico:** Los caudales pico aumentan con la urbanización, como consecuencia de un mayor volumen escurrido en un tiempo más corto. Además, la urbanización tiene un mayor impacto sobre los eventos frecuentes que sobre los eventos extremos.
- **Contaminación de las masas de agua receptoras:** La contaminación presente en las aguas pluviales urbanas es una de las principales fuentes de deterioro de los cuerpos de agua receptores. Esta contaminación se debe fundamentalmente al lavado que produce la lluvia sobre los contaminantes acumulados en las superficies impermeables.

Pluviometría

En relación con la pluviometría, las principales vulnerabilidades definidas en el AMSS están íntimamente conectadas con los cambios previstos con el cambio climático y se resumen en los siguientes puntos:

- Aumento de Temperatura
- Disminución de precipitación anual
- Aumento de precipitación extrema

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Las características básicas de las lluvias máximas de la región del AMSS pueden ser estimadas a partir del análisis de las curvas intensidad-duración-frecuencia de la estación más cercana a la zona de proyecto.

Atendiendo al reglamento vigente en el AMSS, el período de retorno mínimo a emplear para el dimensionamiento de los dispositivos de control de escurrimiento pluvial es de 10 años. Se recomienda que, en caso de llevar un rebalse, éste se dimensione para un T_r mayor por motivos de seguridad. El período de retorno de un evento es la cantidad de tiempo para la cual la probabilidad de ocurrencia se distribuye uniformemente en los periodos que componen dicha cantidad de tiempo; así pues, un período de retorno de 10 años corresponde a una probabilidad de excedencia de $1/10 = 0.1$ o 10% para un año cualquiera, no debe interpretarse de forma errónea como un evento que se repite una vez cada 10 años, de hecho la probabilidad de que se dé una o más veces en ese período es del 65%.

Otra metodología bastante común para dimensionar los SUDS es a partir del “*volumen de calidad*”, que es aquel que se genera a partir de la escorrentía generada por la lluvia de percentil del 80-90% de la serie de precipitaciones del año medio y se denomina así porque la gestión de ese volumen implica una reducción de la contaminación vertida hacia el medio receptor de entre el 80%-90%. Esta sistemática implica unas dimensiones menores que las desarrolladas a partir de $T_r=10$ años.

Un punto importante a tener en cuenta, en la diferencia entre el dimensionamiento de drenaje convencional y sostenible es que el primero suele dimensionarse con caudales pico (el colector, canal o conducto ha de tener capacidad suficiente para transportar hasta un caudal máximo definido a partir de las curvas IDF y un área de aportación) y el segundo con volúmenes (el agua se va almacenando en la estructura y, o se lamina o se infiltra).

Puesto que la finalidad de los SUDS es la gestión de eventos frecuentes no extremos, en esta guía se propone realizar el dimensionamiento con $T_r=5$ años para sistemas de control en origen que preceden a otro sistema (con rebalse preparado para $T_r=10$) y $T_r= 10$ años para técnicas de control local y sistemas de transporte, ajustándose a la normativa de OPAMSS.

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

Definición de las subcuencas o áreas de aportación

Como cualquier análisis hidrológico previo a un dimensionamiento de una obra de drenaje, en este caso también hay que definir las cuencas de aportación. Puesto que sus particularidades son diferentes a las de las cuencas naturales, en esta guía se las va a denominar cuencas urbanas y a cada parcela en la que se puedan dividir, áreas de aportación o áreas aportantes de aquí en adelante.

Ya se ha mencionado que las cuencas urbanas tienen una serie de características por mero hecho de su “urbanidad” que hay que considerar a la hora de delimitarlas. Respecto al tamaño, son más pequeñas que las cuencas naturales, y se pueden dividir en cuencas más pequeñas según las superficies de aportación (cubiertas, aceras, calzada). Por ello, se ha de trabajar a gran escala, ya que elementos constructivos de pequeña envergadura (bordillos, cordones-cuneta, arbolado urbano, etc) cambian la superficie modificando las rutas que podría seguir el agua.

Para comparar más detenidamente los elementos a tener en cuenta en la delimitación de las cuencas urbanas y de las áreas de aportación, se van a considerar los dos posibles casos de partida de un proyecto:

Nueva construcción: se va a edificar sobre un suelo no urbanizado

En este caso, con ayuda de la topografía, se delimitarán las cuencas de la superficie de proyecto, identificando puntos de vertido de cada uno y las rutas del agua. En fases de nueva construcción, es recomendable, una vez hecho esto, corroborar que no se va a construir sobre ninguno de los caminos del agua, puesto que cuanto más se respeten esas vías, menos puntos de acumulación de escorrentía no deseados aparecerán y, por lo tanto, menos elementos para evitar los problemas derivados de esa acumulación, habrá que ejecutar.

La planificación de una nueva urbanización teniendo en cuenta el ciclo hidrológico natural, minimiza su impacto desde el principio respetando, en la medida de lo posible, las vías preferenciales del agua. Esto se considera una medida no estructural de drenaje sostenible que está recopilada, junto con otras, en el Módulo 3 de esta guía.

Suelo desarrollado urbanísticamente

La topografía natural está modificada y el ciclo del agua ya no sigue las rutas preferenciales que le daba el suelo natural. En estos casos hay que tener en cuenta que:

- Los puntos de vertido de las áreas de aportación pueden ser elementos artificiales, como tragantes o rejás.
- Las aguas lluvias precipitadas sobre los edificios se vierten a la calle, por donde discurre hasta que entra a una red de drenaje. De manera que puede darse el caso de que la escorrentía generada en la cubierta de un edificio, que se considera que queda dentro de una cuenca urbana por su localización, acabe siendo vertida en otra cuenca.
- Aunque es más rápido generar las cuencas automáticamente con software GIS a partir de unos puntos de vertido o desagüe dados y de un MDT, es conveniente prestar mucha atención en ese proceso, revisarlo y, si es conveniente corregirlo. En el medio urbano hay grandes alteraciones de cotas superficiales en pequeñas extensiones. Por ejemplo, en una sección de una calle está la cota de la calzada, a tres metros la cota de la acera 15-20 cm más alta y a un par de metros más, un edificio de 10 metros de altura. En las triangulaciones del MDT se puede perder parte de esa información tan concentrada y dar como resultado cuencas urbanas que, no se ajustan con la realidad.

Pasos para la delimitación de las subcuencas urbanas y de sus áreas de aportación:

- 1- Definición de los caminos del agua según topografía:

El empleo de software GIS es una herramienta muy útil ya que permite visualizar simultáneamente en una misma imagen topografía, la red de tragantes y colectores, los planos catastrales y/o ortofotografías georeferenciadas.

- 2- Determinación de los puntos de salida del agua, tanto tragantes como salidas directas

- 3- Delimitación del área aportante a cada punto de salida. En medios urbanos, las calles generalmente actúan como canales que vierten en los tragantes. Pero no toda el agua que circula sobre el tragante o la reja logra entrar

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

en él, parte del caudal sigue hacia aguas abajo. Esto se considerará en el siguiente paso de diseño, en la creación del modelo conceptual.

4- Clasificar las áreas aportantes de las subcuencas urbanas La delimitación de las áreas aportantes para proyectos *SUDS*, ha de discretizarse lo máximo posible, según sus categorías comunes unificadas. Por ejemplo, las áreas aportantes de una subcuenca urbana pueden ser: la calzada, los arriates, las cubiertas de los edificios o la acera.

5- Realizar las visitas a campo necesarias para verificar las cuencas urbanas delimitadas y modificar éstas últimas para ajustarlas a lo observado "*in situ*".

Cálculo de caudales

La metodología para el cálculo de los caudales de diseño viene establecida en la norma *Reglamento a la Ley de desarrollo y ordenamiento territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños* de COAMSS/OPAMSS y es función del tamaño del área de proyecto:

1. Para áreas de drenaje con una extensión de hasta dos y medio kilómetros cuadrados se podrá utilizar el Método Racional, considerando como coeficientes de escorrentía para cada tipo de uso de suelo:

ÁREAS URBANAS: Uso de suelo	Coefficientes de escorrentía
Comercio	0.70-0.95
Residencial alta densidad	0.65-0.80
Residencial media densidad	0.40-0.60
Residencial baja densidad	0.30-0.50
Industrial más del 70% impermeable	0.60-0.90
Industrial hasta el 70% impermeable	0.50-0.80
Parques y Cementerios	0.10-0.25
Parqueos Concreto	0.70-0.95
Parqueos Asfalto	0.80-0.95
Áreas Peatonales	0.75-0.85
Techos	0.75-0.95

Tabla 4. 7. Coeficientes de escorrentía para el cálculo de caudales: Fuente: RLDOT

Este método presenta una serie de limitaciones que el proyectista deberá tener en cuenta:

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

- Proporciona solamente un caudal pico, no el hidrograma de crecientes para el diseño.
- Supone que la lluvia es uniforme en el tiempo y en toda el área de la cuenca, con una intensidad constante, lo cual es sólo cierto cuando la duración de la lluvia es muy corta y si la extensión de la cuenca es pequeña.
- Asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación, y esto no es cierto en la realidad, ya que la escorrentía depende también de muchos otros factores, tales como precipitaciones antecedentes, condiciones de humedad antecedente del suelo, etc.
- Ignora los efectos de almacenamiento o retención temporal del agua escurrida en la superficie, cauces, conductos y otros elementos ya sean naturales o artificiales.
- Admite que el período de retorno de la precipitación y el de la escorrentía son los mismos, lo que sería cierto en áreas impermeables (donde las condiciones de humedad antecedente del suelo no influyen de forma significativa en la escorrentía superficial) pero no en suelos de elevada permeabilidad.

Pese a esto, el método racional se usa prácticamente en todos los proyectos de drenaje urbano en todo el mundo ya que produce resultados aceptables en áreas pequeñas y con alto porcentaje de impermeabilidad, cómo será el caso de las áreas de aportación de las subcuencas urbanas.

De todas formas, aunque se haga una primera estimación de caudales con este método para el dimensionamiento de los SUDS, en la fase 3 de diseño se deberá comprobar el funcionamiento global del conjunto de la cadena de gestión mediante modelos de simulación hidrológica-hidráulica.

2. Para áreas de drenaje mayores de dos y medio kilómetros cuadrados se deberá utilizar Métodos Hidrometeorológicos debidamente justificados.

Estos métodos se suelen emplear más para cuencas naturales, ya que contemplan con más detalle la permeabilidad del suelo, su capacidad de almacenamiento de agua, ... Por eso, en aquellos nuevos desarrollos, donde se parte de suelos naturales, es más adecuado el empleo de este tipo de métodos,

Fase 1: Caracterización de la zona de proyecto

de esta manera no se sobreestimaré el caudal generado evitando el sobredimensionamiento de los elementos de drenaje.

Localizaciones puntuales

Aunque sea más sencillo incluir los SUDS en un proyecto desde su fase inicial, éstos también pueden incorporarse a edificaciones ya construidas y en uso.

Al tratarse de una remodelación, en caso de que no se superen los 50 m² de intervención y, aplicando el “*Art. VIII. 4. Obras Autorizadas sin Solicitud Previa*” del Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial *del Área Metropolitana De San Salvador y de los Municipios Aledaños*, no se requerirá solicitar el permiso de Factibilidad. Esto puede aplicar a SUDS de control en origen que se realicen en una edificación ya existente. Pero se debe tener en cuenta que, de estar localizados en el jardín exterior, deberá respetarse el alineamiento en lo relativo a acera, arriate, rodaje y zonas de retiro en caso de vías de circulación mayor, para lo cual se deberá realizar el trámite de Línea de Construcción correspondiente.



CAPÍTULO 5

Fase 2 del diseño: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Fase 2 del diseño: Creación de un modelo conceptual: La cadena de drenaje

Antes de proseguir con la siguiente fase de diseño, la de creación de un modelo conceptual, conviene profundizar en las diferentes aplicaciones que pueden realizarse dentro de un SUDS.

De esta manera, dadas las necesidades a cubrir por el proyecto y conociendo las funciones que desempeñan en la gestión sostenible de aguas lluvias, se seleccionarán aquellos sistemas cuya función sea la que mejor se alinee con el cumplimiento de los objetivos de proyecto.

a. Los sistemas de gestión sostenible de aguas lluvias

i. Sistemas no estructurales

Este tipo de sistemas se explican más detenidamente y de forma independiente en el Módulo 3. Su principal característica es que son de tipo preventivo y no requieren construcción de elementos.

Suponen el primer eslabón de la cadena de drenaje e incorpora una multitud variada de acciones cuya finalidad es evitar que aparezcan problemas de acumulación de agua de escorrentía en puntos indeseados o su contaminación.

El diseño en esta Guía está enfocado principalmente a la gestión de la cantidad de aguas lluvias y, con relación a ello, algunas actuaciones concretas en el AMSS que para iniciar el tren de drenaje podrían ser:

- Nuevos desarrollos urbanísticos:

Tras el estudio y caracterización de la zona de proyecto, habrán quedado identificadas las rutas del agua, las subcuencas, las potenciales zonas de infiltración, posibles depresiones del terreno, Lo ideal es optimizar lo que el medio natural ofrece:

- Respetando los caminos preferentes del agua, evitando construir sobre ellos o sus inmediaciones, para evitar que se generen puntos de acumulación de agua
- Aprovechar esos caminos naturales para la conducción segura del excedente de caudal que no haya podido gestionarse "in situ"
- Manteniendo las zonas de potencial infiltración para ese uso en la medida de lo posible
- Puesto que la norma exige acondicionar un porcentaje del suelo como espacio verde recreativo, incorporarlo en la fase de diseño con la gestión sostenible de las aguas lluvias (por ejemplo, contemplándolo como un elemento para la retención o para la infiltración)
- Aprovechando las depresiones naturales para el almacenamiento de la escorrentía

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

- Remodelaciones del espacio urbano desarrollado

En este caso, las medidas están encaminadas al aprovechamiento de las conducciones y elementos ya construidos:

- Reparar y acondicionar tragantes. Los tragantes son los puntos de desagüe vial de las aguas lluvias. Si no se produce la entrada de la escorrentía a través de ellos, las calles se inundarán al poco de comenzar un evento pluviométrico.
- Retirar basuras y escombros de la calle con regularidad. El período de lluvias está concentrado en unos meses al año, por lo que puede parecer suficiente con proceder a una limpieza justo antes de que comiencen las precipitaciones, pero es aconsejable que se trate de una tarea frecuente en tiempo seco, para evitar que se llegue a acumular tanta basura que haga inservible la infraestructura de drenaje antes del comienzo de las precipitaciones.

ii. 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. Su tamaño y material de construcción dependerá de la cantidad de agua a recolectar y su posterior uso. Se pueden emplear barriles de madera correctamente tratados, depósitos de material plástico o depósitos de material constructivo.

La finalidad de los elementos de recolección es almacenar la mayor cantidad de agua posible para los diferentes usos que se les puede hacer. Aunque no se trate de una medida que se ejecute “*ex profeso*” para el control de caudales pico o volúmenes de escorrentía (su finalidad es el aprovechamiento del agua de lluvia) en la presente guía se define más como un elemento de drenaje que como recurso de pluviales, por lo que no se tratarán temas relacionados con filtros, bombas o mecanismos relacionados con el consumo del agua. El sistema de recolección se contemplará como un volumen restado al total del que ha precipitado en una zona y que, por tanto, no entrará en la red de drenaje

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

El dimensionamiento del depósito de pluviales depende de 3 factores principalmente: 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

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

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:

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

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

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

365

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

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. En este caso, conocidas las necesidades en tiempo seco de agua, el empleo directo de la fórmula dará volúmenes de gran tamaño para los que no siempre se dispondrá de espacio. Por eso se recomienda hacer una valoración económica que refleje el coste de la construcción de un depósito y el beneficio de disponer de agua durante la época de sequía para abastecer una o varias de las necesidades de consumo.
5. Al estar tan polarizada la precipitación en el AMSS, pueden ocurrir dos casos:
 - a. Que el sistema esté funcionando para captar y abastecer en época lluviosa.
 - b. Que el sistema sólo esté almacenando agua en época de lluvias para después abastecer en época seca (lo que ocurre, por ejemplo, con el agua para riego, durante la época lluviosa no es necesario regar las plantas, pero en época de sequía sí hay que hacerlo)

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

En el Módulo 3 hay un capítulo dedicado exclusivamente a los sistemas de recolección de pluviales.

ii. Sistemas de superficies permeables

Las superficies permeables son un conjunto heterogéneo de superficies que permiten el paso del agua a su través (ver capítulo Pavimentos Permeables en Módulo 3). Pueden ser asfaltos porosos, Módulos impermeables cuyas juntas no están selladas, Módulos ornamentales con grama, ...

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 (la velocidad a la que atraviesa el agua esta superficie) ha de ser alta, como por ejemplo la de uno de los asfaltos permeables que se comercializan en El Salvador es superior al $80 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$.

El diseño de este tipo de elementos se divide en dos, la parte estructural (no es objeto de esta guía) y la hidráulica, para lo que se necesita saber la conductividad hidráulica como ya se ha mencionado, 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.

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 poner dos ejemplos: primero porque para poder almacenar el mismo volumen de agua que un lecho de gravas se ha de disponer de un espesor mucho mayor (la porosidad de estos elementos es menor) lo que resulta menos eficiente y más caro; segundo porque el agua atraviesa la superficie con una velocidad mayor que la capacidad de infiltración del suelo, por lo que dejando solamente la superficie permeable, ésta vería limitada su capacidad a la del suelo y acabaría por saturarse y producir escorrentía.

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

iii. Sistemas de almacenamiento

A grandes rasgos se tratan de sistemas que aportan un volumen donde se almacena el agua de escorrentía para su posterior salida. 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.

Para simplificar el dimensionamiento en esta fase de modelo conceptual, se van a considerar dos grupos y en el Módulo 3 se encontrarán las claves para un diseño más detallado de cada uno de los SUDS.

Almacenamiento en matriz porosa

Ejemplos de SUDS que almacenan agua en matriz porosa son:

- Sistemas de Biorretención
- Zanjas y pozos de infiltración
- Depósitos subterráneos de celdas plásticas

En estos tres casos la escorrentía puede salir por infiltración, por un dren o colector o por ambos medios.

En el diseño de estos sistemas hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

Caudales de entrada (m^3/s) para $Tr=5$ o 10 años según la localización del sistema dentro de la cadena de drenaje (para técnicas de control en origen que sean inicio de cadena 5, si son fin de cadena y resto de controles, 10 años) y duración de 1 hora. Estos dispositivos almacenan el agua de escorrentía de zonas colindantes si son subterráneos y en caso de estar abiertos a la superficie, además, el agua precipitada directamente sobre ellos. Con ello se obtiene un volumen de entrada (V_E, m^3).

Caudal de salida (m^3/s). El caudal de salida puede darse por:

- La infiltración, en cuyo caso hay que estimar el volumen de agua exfiltrado desde el sistema al subsuelo (ver sistemas de infiltración)

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

durante un período de tiempo determinado (24 horas que es el tiempo en el que se recomienda que se vacíen los sistemas)

- Un dren o colector que transporte la escorrentía inmersa en la matriz hacia el exterior
- Ambos medios

Para que se produzca una laminación del caudal en uno de estos dispositivos, el caudal de salida ha de ser inferior al de entrada, por ello que el dispositivo escogido para dar la salida al sistema será un factor determinante.

- Conductividad hidráulica de la matriz porosa (k , m/h): Es la velocidad a la que el agua circula a través del lecho.
- Tiempo de vaciado del sistema (t , s): Es el tiempo que tarda el sistema en estar completamente disponible para la siguiente tormenta. Lo ideal es que, tras una tormenta, se vacíe en las siguientes 24 horas para poder recibir el siguiente evento pluviométrico.

Volumen de almacenamiento útil (V_A , m³): Es el volumen disponible en el sistema, siendo la diferencia del volumen entrante y el saliente. Será el proyectista el que defina el caudal de salida en función de las condiciones aguas abajo, una vez determinado ese caudal.

Volumen de almacenamiento total (V_T , m³): Es el volumen total del sistema. Equivale al 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).

Área de la matriz porosa A_S , es el área en planta del sistema de almacenamiento poroso. En este caso hay que tener en cuenta que el agua tardará un tiempo en descender por toda la matriz hasta su base, desde se procede a su evacuación. Una vez conocido el volumen a gestionar, para asegurar unas dimensiones que permitan que el sistema se vacíe en 24 horas, ha de cumplirse:

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

Ecuación 5. 1. Estimación del área mínima que ha de tener el sistema de biorretención.

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

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

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

L = Altura de la matriz porosa (m)

h = Altura de la lámina de agua encima de la matriz (m) (en caso de que se produzca simultáneamente almacenamiento en matriz y en espacio vacío)

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

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

Almacenamiento en espacio libre

El almacenamiento en espacios libre puede darse a cielo abierto como en los estanques de retención o en sistemas subterráneos como los depósitos de detención y, generalmente, en ellos no se da el proceso de infiltración. Estos sistemas se emplean generalmente para gestionar la escorrentía a nivel local o regional por lo que la tormenta de diseño se corresponderá con un periodo de retorno mínimo de 10 años y se vacían en las 24 horas posteriores a la tormenta para volver a tener capacidad para el siguiente evento pluviométrico.

En estos casos, el volumen de almacenamiento útil y el total es el mismo y su estimación puede realizarse de forma sencilla mediante un balance de masas, que tienen en cuenta:

El caudal de entrada (m^3/s), que es el generado por una tormenta de diseño de periodo de retorno de diez años y de una hora de duración (a menos que desde OPAMSS se indique otra cosa).

El caudal de salida (m^3/s), que viene determinado por el tiempo de vaciado (24 horas máximo) y por el dispositivo (colector, válvula, vertedero...) por el que sale el flujo, que a su vez dependerá también de las condiciones aguas abajo. El caudal de salida, lo define OPAMSS en el trámite de Factibilidad de Aguas Lluvia velando siempre por el IHC, a menos de que se trate de un sistema intermedio dentro de la cadena de drenaje (es decir, que el caudal saliente vaya a otro elemento de gestión antes de su llegada al punto de vertido)

Las especificaciones de diseño concretas a cada SUDS con almacenamiento en espacio libre pueden verse en el Módulo 3, en los capítulos de estanques de retención y depósitos de detención. Pero en ambos casos hay que estimar el volumen necesario que, en los estancamientos superficiales, dependerá de la

morfología del terreno y en los subterráneos se ajusta a morfologías geométricas regulares según el elemento constructivo a emplear.

iv. Sistemas de infiltración

Estos sistemas facilitan la percolación del agua de lluvia en el subsuelo, para ello disponen de un volumen (un medio poroso o celdas plásticas) donde se almacena agua de escorrentía que se irá infiltrando en el subsuelo.

En el diseño de los sistemas de infiltración hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Volumen de aguas lluvias a tratar (V_E , m^3): Es el volumen de agua generado por una superficie de aportación determinada para $Tr=5$ o 10 años (ver Paso 1: Estudio del terreno) según la localización del sistema dentro de la cadena de drenaje 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 $4 \cdot 10^{-6}$ m/h . Para que se pueda producir la infiltración es importante que la permeabilidad del subsuelo sea tal que permita que el agua almacenada en el sistema penetre por completo en él en las 24 horas posteriores a la tormenta. En esta fase de creación del modelo conceptual basta con conocer el material del subsuelo según lo determinado en la fase previa de caracterización de la zona de estudio para estimar un coeficiente de permeabilidad con el que hacer una primera apreciación del caudal máximo que puede infiltrarse, pero en la siguiente fase, la de proyecto, sí que habrá que contar con los valores hallados en los ensayos en campo. Además, al valor de la permeabilidad, habrá que aplicarle un 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

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

	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

Tabla 5.1. Valores del factor de seguridad. Fuente: Adaptación MINVU

- Volumen de infiltración (V_I , m³): Es el volumen de agua que puede infiltrarse en el subsuelo. Una forma sencilla de estimarlo es mediante la ecuación:

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

Ecuación 5. 2. Estimación del volumen de infiltración.

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 , m³): 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 multiplicado 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).

A_i área total de infiltración del sistema (m^2). Es el área total que está en contacto directo con el suelo o subsuelo por donde se producirá la exfiltración (salida del agua desde el sistema hacia el suelo/subsuelo). Los sistemas superficiales de infiltración como estanques o pavimentos permeables se consideran planos, es decir la infiltración se da en un solo plano. Los sistemas de infiltración subterráneos como las zanjas o los pozos, por el contrario, se consideran tridimensionales, se produce la exfiltración tanto por el fondo del sistema como por los laterales.

Una vez conocido el volumen de escorrentía, y sabiendo que el tiempo máximo de en el que se tiene que vaciar el sistema son 24 h, será fácil conocer el área de infiltración necesaria.

En los sistemas planares, esa área será igual a la superficie de entrada de caudal al sistema A_s (m^2) pero no así en los tridimensionales, que se dividirá entre el área del fondo del sistema y las de los laterales. Las especificaciones y recomendaciones concretas de cada caso vienen especificadas en el Módulo 3 para cada una de las técnicas donde se produce la infiltración.

v. 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

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

lo suficientemente baja como para que se puedan precipitar los sedimentos que queden en la escorrentía.

vi. 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 que facilitan

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. En función de las características de cada zona concreta habrá tendencia a generar uno u otro tipo de contaminante. El proyectista entonces deberá seleccionar aquellos sistemas que, además de cumplir con los objetivos de protección frente a inundaciones, ayuden a controlar esa contaminación.

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 para 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 infiltración	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Superficies permeables	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Zanjas de infiltración	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabla 5. 8. Capacidades en el tratamiento de los contaminantes de cada técnica. Fuente: Adaptación de Daywater, CIRIA C-697 y Georgia Stormwater Manual

b. Establecimiento de una cadena de drenaje

A la hora de seleccionar aquellos sistemas que ayudarán a lograr el objetivo de proyecto, hay que tener en cuenta las características de la zona de proyecto que se han analizado en la Fase 1 puesto que servirán como guía para la selección de las medidas más apropiadas, ya que no todas las técnicas de drenaje sostenible son adecuadas para todos los espacios. Es por eso, que durante la primera fase del diseño de un sistema de drenaje se identifiquen las oportunidades y limitaciones que ofrece cada lugar para crear una cadena de gestión ajustada a las particularidades espaciales de cada proyecto.

La cadena de drenaje engloba una secuencia de sistemas de gestión que tratan de imitar el ciclo hidrológico natural desde que cae la precipitación en un punto hasta que se vierte en el medio receptor.

Este concepto es fundamental para el diseño de los SUDS, trata de cómo se emplean estos sistemas de forma encadenada con el objetivo de reducir progresivamente los volúmenes de escorrentía y/o los caudales punta y la contaminación arrastrada. Se comienza por tratar de gestionar el agua de lluvia donde precipita, para ir ampliando el campo de actuación según sea necesario.

i. Eslabón 1: Prevención

El primer eslabón consiste en adoptar medidas de prevención, que suelen ser medidas no estructurales como, por ejemplo:

- En la propuesta de planificación de una nueva urbanización evitar construir sobre cauces o riberas susceptibles de inundarse, por lo que previamente se debe delimitar la zona de protección atendiendo a lo establecido en el *Art.V.13. Zonas de Protección para Accidentes Naturales del “Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños”* y alejar la construcción del cauce o zona inundable.
- Mantener limpios los tragantes para favorecer la entrada de la escorrentía que circula por la calle y cambiar el tipo de reja por otra de más luz allá donde se observe que no cumplen su función.

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

Generalmente, sólo con la adopción de estas medidas no se suelen alcanzar los objetivos de diseño, por lo que hay que pasar al siguiente eslabón, el control en origen.

ii. Eslabón 2: Control en origen

Este tipo de control supone gestionar el agua de lluvia en el mismo lugar donde se genera, para impedir o minimizar la generación de escorrentía. SUDS de aplicación en origen son:

- Cubiertas verdes
- Pavimentos permeables
- Franjas filtrantes
- Depósitos de lluvia
- Sistemas de biorretención
- Pozos-zanjas de infiltración

A diferencia de lo que se hace en el drenaje convencional, evacuar rápidamente el agua allí donde cae para llevarla hacia una quebrada, con los SUDS se tratará, en la medida de lo posible que el agua se retenga o se infiltre allí donde precipite.

Para poder establecer unas medidas de control en origen, hay que definir las áreas aportantes de las cuencas urbanas, calcular el volumen que una tormenta de diseño de 5 o 10 años de periodo de retorno (en función es o no final de cadena) y 1 hora de duración produce para cada una de ellas y, en función de las características de la zona de proyecto, seleccionar el o los SUDS capaces de tratar ese volumen en su globalidad. Lo ideal sería que también tuviesen capacidad para controlar los caudales de diseño para una tormenta de 10 años de duración, pero como requeriría de más espacio, en caso de que no tuviera cabida, se deberá diseñar una salida segura para ese excedente de agua (correspondiente a la diferencia de volúmenes generados entre una tormenta de diseño de 5 años de período de retorno y la de 10 años).

Ejemplos de acciones para el control en origen serían:

- Instalar pavimento permeable en zona de parqueo
- Recolectar el agua de un techo para su posterior empleo en el riego

- Introducir el agua de una cubierta en un pequeño pozo de infiltración en el patio trasero
- Infiltrar el agua de una pequeña plaza en una zanja
- Retener el agua precipitada sobre la cubierta en un canal con bajantes reducidas.

iii. De un eslabón a otro: Sistemas de transporte

Puesto que no siempre se va a poder evitar la escorrentía con este tipo de técnicas, habrá que analizar qué excedentes de caudal se generan y cómo llevarlos al siguiente eslabón de la cadena. Para ello habrá que seleccionar qué sistemas de transporte de caudal (convencionales o sostenibles) emplear en función de la topografía del terreno y la disponibilidad de espacio. Ejemplos de SUDS que permiten transportar caudales son:

- Cunetas verdes
- Franjas filtrantes
- Zanjas
- Sistemas de biorretención lineales

Hay que tener en cuenta que los dos últimos son además sistemas de almacenamiento, y en todos también se puede producir la infiltración si la litología del suelo lo permite. Por tanto, estos sistemas aparte de conducir la escorrentía la retienen (reduciendo el caudal pico) y/o la infiltran (reduciendo el volumen). En el diseño del dimensionamiento de estos sistemas hay que considerar que van al aire libre y que les puede entrar escorrentía de las zonas adyacentes. Ese aporte externo hay que contabilizarlo y, al no ser ya un control en origen, se hará la estimación de caudales para un periodo de retorno de 10 años.

En la Fase 1 se definen las posibles rutas o caminos que seguirá el agua de forma natural. Estos caminos se pueden reconvertir en sistemas de conducción sostenible aprovechando así la topografía para minimizar las excavaciones, pero siempre atendiendo a las pendientes, puesto que si son muy escarpadas pueden aparecer problemas de erosiones o inestabilidades.

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

iv. Eslabón 3: Control local

El siguiente eslabón en la gestión sostenible de aguas lluvias es el control a nivel local de la escorrentía. Esto es, el manejo del agua precipitada que no se ha podido gestionar en el eslabón anterior porque las técnicas no tenían capacidad suficiente o porque no se ha instalado ninguna técnica.

Conocidos los excedentes de los sistemas de control en origen y los caudales de diseño para una tormenta de 10 años y una hora de duración producidos en las áreas aportantes donde no se pudo realizar el control local, se pueden dimensionar este tipo de sistemas. SUDS que pueden actuar a nivel de control local son:

- Pozos, zanjas y lagunas de infiltración
- Depósitos enterrados de detención
- Sistemas de biorretención
- Pequeñas lagunas de laminación

Como nota aclaratoria hay que indicar que una misma técnica puede actuar a varios niveles, dependerá del tamaño para el que ha sido diseñada y, según cada caso, habrá que tomar unas disposiciones específicas en el diseño, en especial las relacionadas con los elementos de entrada, salida y control de la operatividad.

Por poner un ejemplo, en la instalación de un pequeño sistema de biorretención para el control en origen del agua precipitada sobre un techo de una casa, se necesitará captar mediante canaleta el agua del Techo, de ahí pasará por un tubo bajante que puede acabar en un deflector para reducir la energía de salida y, directamente, salir al pequeño sistema instalado en el patio. Si se puede infiltrar el agua lo hará y si no, se pondrá un pequeño tubo dren que conecte con la red de drenaje o lleve el agua a otro punto del patio. Un sistema de biorretención que actúe a nivel local necesitará de un pretratamiento previo para eliminar los contaminantes arrastrados por la escorrentía, y tanto se pueda producir o no la infiltración deberá de contar con un dispositivo de alivio o rebose de emergencia. El mecanismo de funcionamiento del sistema y la forma de dimensionarlo en ambos casos es igual, pero los elementos complementarios para la entrada/salida de flujo, no.

v. Eslabón 4: Control regional

Finalmente, el último eslabón de la cadena es el control de la hidrología urbana un nivel mayor. La escorrentía que no haya podido gestionarse mediante los eslabones anteriores se dirigirá a un SUDS capaz de manejar volúmenes de agua mayores como son los:

- Depósitos enterrados de detención
- Lagunas de laminación

En esta segunda fase de creación del modelo conceptual bastará con hacer una primera estimación de los volúmenes necesarios a almacenar y de los caudales de salida y entrada de manera que queden dimensionados como mínimo para tormentas de periodo de retorno de 10 años, aunque la Administración Pública podría definir un periodo de retorno mayor si así lo considera por motivos de seguridad.

El modelo conceptual se acompaña de un primer dimensionamiento de los sistemas presentes en cada eslabón que debe revisarse para comprobar que las dimensiones estimadas tienen cabida en el espacio de proyecto y que cumplen con los criterios de establecidos en el Reglamento de OPAMSS.

Una vez hecha la selección de las técnicas que mejor se adaptan a los criterios de diseño, debe ajustarse el proceso, revisando cada eslabón de la cadena y sus conexiones entre sí; la utilidad de cada sistema dentro de la cadena, su posible agrupación, y la sustitución o incluso eliminación de alguno manteniendo un nivel de satisfacción óptimo.

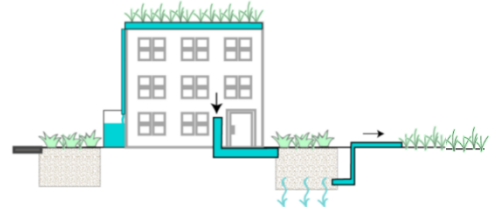
Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

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

rrio

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



HASTA APROX. DOS HECTÁREAS

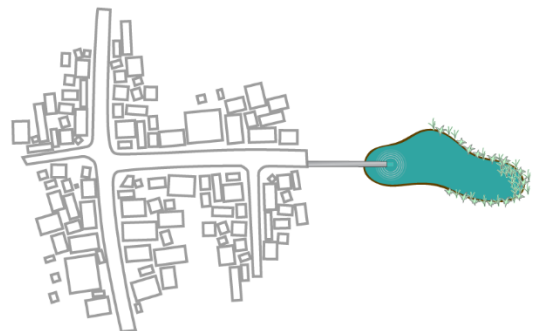
CONTROL REGIONAL

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



c. Optimización de la cadena de gestión

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 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. Pero, en este último caso hay que tener en cuenta que en el AMSS el microdrenaje no cuenta con capacidad hidráulica suficiente, por lo que en la cadena de gestión se ha de potenciar los SUDS que eviten un incremento de caudal dentro de la red existente.

d. Resultados obtenidos en la primera mitad del proceso de diseño

En este punto ya se ha alcanzado la mitad del proceso de diseño; tras la caracterización de la zona de proyecto y la creación de un modelo conceptual siguiendo la cadena de gestión de drenaje sostenible es importante tener claros los siguientes puntos listados antes de continuar con el diseño:

- El objetivo del proyecto, que puede ser evitar al máximo la escorrentía, apoyar la red de drenaje existente, aprovechar un espacio verde como elemento de control de pluviales,
- Las áreas (de existir) dónde puede llevarse a cabo la infiltración, como han de consultarse mapas lito-geológicos, en una primera estimación de la

Fase 2: Creación de un modelo conceptual. La cadena de drenaje

capacidad de infiltrar del suelo se podrá recurrir a la bibliografía. Para la siguiente fase de diseño el desarrollista o empresa desarrolladora deberá realizar los ensayos específicos del sitio para conocer si se puede o no infiltrar.

- Las pendientes, puesto que es un factor limitante será conveniente analizar las pendientes y categorizarlas en intervalos de 0 a 5%, de 5% a 15% y mayores del 15% que será donde se descartará el uso de gran parte de los SUDS
- Las zonas de riesgo por deslizamiento de laderas y/o inundación derivada del desbordamiento de río o quebrada.
- En caso de tratarse de una zona ya urbanizada, los espacios aptos en convertirse en SUDS superficiales y aquellos puntos donde se pueda excavar para instalar sistemas de almacenamiento subterráneos.
- La tipología de usos del suelo, puesto que de tratarse de una zona susceptible de contaminar la escorrentía habrá que tomar precauciones especiales en función de la tipología de contaminantes que se espera puedan aparecer.
- Las rutas o caminos que sigue la escorrentía y los posibles puntos de vertido. Las rutas de excedencia de un eslabón a otro pueden incluir caminos, partes de espacios públicos abiertos, Ha de asegurarse siempre que su uso para este propósito no impida su función normal ni ponga en riesgo a las personas o sus bienes.
- Las cuencas urbanas discretizadas en áreas de aportación y los caudales y/o volúmenes generados en cada una de las áreas de aportación.
- Las técnicas que pueden emplearse en cada nivel de gestión y un pre-dimensionamiento de las mismas a partir de los volúmenes de escorrentía. Aunque las dimensiones pueden variar antes de proceder al diseño detallado, al llegar a la mitad de este proceso ya hay que saber en los elementos que serán necesarios instalar, dónde y su envergadura aproximada para hacer una apreciación de los costes y de las potenciales tareas de mantenimiento. El predimensionamiento puede realizarse con un balance de masas (metodología en primer epígrafe: Los sistemas de gestión de aguas de lluvia).

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

- Estimación del volumen de tierras a movilizar y de los costes de construcción de los sistemas propuestos.

El modelo conceptual será la base del proyecto, por lo que cuanto mejor y más detallado se tengan desarrollados los puntos antes mencionados, más sencillo será realizar el diseño de proyecto SUDS.

Hoja dejada intencionadamente en blanco



CAPÍTULO 6

Fase 3 del diseño: El proyecto SUDS



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Fase 3: El proyecto SUDS

Fase 3 del diseño: El proyecto SUDS

Esta fase comienza a partir del modelo conceptual establecido en la fase anterior donde se han definido 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 se han seleccionado los sistemas que se emplearán para ello.

El proceso de diseño no es lineal, sino que se retroalimenta conforme se va analizando el comportamiento hidrológico/hidráulico de cada componente. Puede ser que la propuesta del modelo conceptual sea válida pero que una vez definidos todos los elementos necesarios, éstos no tengan cabida en el proyecto o que, cuando se obtengan las tasas de infiltración medidas in situ, éstas definan otras dimensiones para los dispositivos propuestos. Entonces habrá que redefinir las rutas del agua, proponer otros sistemas de gestión de la escorrentía y redimensionarlos. Todas las suposiciones hechas en la etapa de diseño conceptual, como las capacidades de infiltración, los niveles piezométricos, las infraestructuras y capacidades de alcantarillado existentes, deben confirmarse in situ.

Al comienzo de esta etapa, todos los datos y parámetros necesarios (ver Fase I: Caracterización) han de estar perfectamente definidos, puesto que se van a dimensionar los elementos (sistemas y dispositivos adicionales) al detalle:

- Topográfico a escala 1:100
- Tasas de infiltración reales
- Catastro (planos a escala 1:1000 mínima con la localización de infraestructuras, tendido eléctrico, postes de teléfono, tragantes, alcantarillado,...)
- Limitaciones espaciales que pudieran existir: colindancias con los vecinos, disposiciones específicas de cada municipalidad,
- Áreas aportantes y el punto de salida de estas
- Caudales y volúmenes de escorrentía
- Y, en caso de que haya propuestas de recolección de pluviales, cantidades de consumo previstas

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Puesto que se trata de un proceso que se va retroalimentando sobre su realización, se puede simplificar empleando el esquema de la cadena de drenaje y concretando cada vez más el cálculo en tres pasos consecutivos. En cada uno de ellos el usuario afinará los resultados de los obtenidos en el paso anterior conforme el proyecto se va definiendo a detalle.

- Punto de partida de esta fase: Sustitución de los parámetros bibliográficos empleados en el modelo conceptual por los valores obtenidos en la medición en campo.

- 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. Habrá que plantear los pretratamientos necesarios y comprobar su funcionamiento hidráulico también. El objetivo de este paso es conocer los requisitos necesarios para el funcionamiento de cada técnica, qué elementos adicionales requiere para su funcionamiento y las dimensiones de estos. Por dar tres ejemplos:

- Control en origen: Si se va a instalar un pequeño pozo de infiltración para tratar el agua de un tejado, hay que definir las dimensiones del tubo bajante y canaleta que recolectan el agua precipitada, además de las del pozo en sí mismo.
- Control local: Para un área de biorretención y conocidos los caudales de entrada y salida necesarios para su funcionamiento, habrá que darles unas dimensiones a los elementos que conduzcan el flujo (colector, aliviadero de emergencia, dren perforado, ...) y también deberán quedar seleccionadas las plantas que se sembrarán
- Control regional: En el dimensionamiento de un depósito de detención, además de su forma y volumen hay que definir el número localización y tamaño de pozos de control necesarios, las dimensiones de los colectores de entrada y salida y el tipo y tamaño del aliviadero de emergencia

Ya que en este paso se definirán detalladamente todos y cada uno de los elementos a instalar, se deberá ajustar un plan de mantenimiento en función de las características de cada uno de ellos. El proyectista deberá proponer dispositivos que faciliten posteriores tareas de mantenimiento, como incluir

Fase 3: El proyecto SUDS

pretratamientos para minimizar las tareas de limpieza de dispositivos subterráneos, escoger una vegetación que requiera un bajo mantenimiento, etc. teniendo en cuenta lo establecido al respecto en el *Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS y de los municipios aledaños acerca de las medidas a incorporar en cada caso*.

En dicho reglamento se establece que: *“La responsabilidad por el mantenimiento de los dispositivos de control del escurrimiento pluvial corresponderá a los propietarios del proyecto. En el caso de urbanizaciones habitacionales, deberán presentar una propuesta a la OPAMSS sobre la organización, institución o entidad que asumirá la responsabilidad de la administración y mantenimiento a largo plazo y/o durante la vida útil del proyecto. Para el caso de condominios habitacionales deberá ser incorporado en el régimen y reglamento de administración de condominios”* por lo que se aconseja que las tareas sean descritas claramente para que las terceras personas que se encarguen de ello sean capaces de identificar los posibles problemas que puedan surgir en la operatividad del SUDS y darles solución.

- Paso 2: Acercamiento al proyecto constructivo. Una cosa son las dimensiones estimadas en los cálculos de cada elemento, tubo, pozo, ...y otra la variedad de dimensiones que hay en el mercado. Por ello, para esta fase se deberán buscar los materiales (y sus especificaciones técnicas) que componen cada uno de los sistemas que se van a emplear y comprobar, con las dimensiones del fabricante, el desempeño hidráulico de los SUDS.
- En lo relativo a la planificación del mantenimiento, el proyectista deberá incluir los requisitos específicos de cada elemento definidos por el fabricante, valorando si hay varias opciones las condiciones y durabilidad de cada uno y seleccionando el más adecuado para cada situación.
- Es conveniente realizar un análisis económico para evaluar las posibles opciones y seleccionar las más ventajosas teniendo en cuenta precios de adquisición y de mantenimiento de los elementos.
- Paso 3: Comprobación final del modelo completo: Creación de un modelo de simulación para comprobar el funcionamiento de la cadena en su conjunto: Dimensionados ya todos los elementos a detalle, conviene crear

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

un modelo de simulación en un software (ver Anexo *Herramientas*) en el que se compruebe el funcionamiento de la cadena de gestión en su conjunto ya que las técnicas de drenaje urbano sostenible trabajan en serie dentro de la cadena y es importante evaluar que el sistema funciona tal y como se ha proyectado hidráulicamente. En caso de no ser así, se identificarán los puntos problemáticos y se cambiarán o las dimensiones o el tipo de sistema propuesto por otro que funcione.

Fase 3: El proyecto SUDS

a. 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

Una vez estimados los volúmenes de infiltración y/o almacenamiento en cada sistema, hay que analizar cómo el flujo de agua entra en él, cómo discurre a su través y como sale. Un mal diseño de los elementos que facilitan la entrada y/o salida del caudal provocará que el sistema no funcione correctamente por lo que hay que prestar una especial atención en su diseño y dimensionamiento procurando:

- La continuidad del flujo con los caudales de diseño
- Evitar poner obstáculos en las salidas y entradas
- Que su construcción sea sencilla
- Emplear elementos de larga durabilidad
- El fácil acceso para su limpieza y mantenimiento

i. Entrada al sistema

El mecanismo por el cual se recolectan las aguas pluviales y se envían a un *SUDS* varía, dependiendo del tipo de sistema que se trate, la topografía y las rutas de flujo. Los sistemas cuyo funcionamiento se basan en una superficie permeable como los pavimentos permeables o las cubiertas verdes generalmente reciben el agua porque precipita directamente sobre ellos, por lo que no necesitan de una infraestructura específica de entrada.

Para los casos en lo que sí sean necesarias, éstas han de cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser lo más simple posible (en función las características del lugar y el nivel de gestión del sistema)
- Ser fáciles de construir y mantener
- No presentar riesgos por Móduloo
- Ser resistentes a la erosión
- No suponer un riesgo para la seguridad y salud de las personas
- Ser estéticamente neutras (o por lo menos que queden integradas visualmente en la técnica)
- Tener capacidad para que el caudal de diseño circule libremente desde el punto o zona de recolección

Las entradas de flujo a los sistemas pueden darse de forma puntual o de forma difusa/lateral

Entradas puntuales

Los principales componentes son:

- Un conducto de entrada (canal o tubo) con capacidad para transportar el caudal de entrada.
- Un elemento para la protección del conducto de entrada.
- Un dissipador de la energía del flujo de entrada, para evitar que altas velocidades puedan causar erosiones dañar la superficie del SUDS (por ejemplo, una franja de grava o mampostería)
- Un difusor de flujo para evitar que el agua se concentre y discurra sólo por una parte del SUDS (como puede ser una berma por la que el agua rebose por igual)

Fase 3: El proyecto SUDS

El cálculo de las dimensiones de los conductos de entrada se puede realizar con Manning puesto que el flujo circula por ellos a lámina libre.

$$V = \left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} \frac{I^{0,5}}{n}$$

Ecuación 6. 1. Estimación la velocidad de flujo.

V, Velocidad media del flujo, en m/s

A, Área de la sección del flujo en m²

P, Perímetro mojado, en m

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

N, Coeficiente de rugosidad de la superficie

Este tipo de entradas se dan principalmente en:

- Estanques de retención (colector cerrado o canal abierto)
- Depósitos enterrados de detención (colector cerrado)
- Áreas de biorretención (colector cerrado, canal abierto)
- Pozos de infiltración (colector cerrado)

También puede darse en sistemas longitudinales como las cunetas verdes (a partir de un colector en cabecera) o zanjas de infiltración (si es de pequeño tamaño, aunque no es lo recomendable). En estos dos casos y en general para sistemas cuya anchura sea muy inferior a su longitud, lo mejor es que la entrada se realice de forma longitudinal, es decir, que entre de forma uniforme por el lado más largo de la técnica.

Entradas lineales

Este tipo de entradas se da cuando el agua entra en lámina al SUDS a través de uno de sus laterales y es la indicada para que en los sistemas con una morfología lineal (cunetas verdes o zanjas de infiltración) distribuyan el flujo por toda la superficie del SUDS de forma homogénea.

Conocido el caudal de entrada, el material de la superficie y la longitud del lateral del SUDS por donde entra el flujo, se obtiene la velocidad de flujo empleando Manning que, de ser alta, habrá que incorporar una franja de grava o de hierba para reducirla y evitar que se produzcan procesos erosivos dentro del SUDS.

Una tipología de entrada que combina la puntual y la lineal la compone el empleo de bordillos modificados.

Entradas mixtas

Los bordillos son elementos de protección en calles y carreteras, dificultan la intromisión de los vehículos en las aceras y que los peatones ingresen en los arriates. En las calles sirven, junto con las losas del cordón-cuneta, para guiar la escorrentía hasta los tragantes.

Modificando los bordillos, se puede mantener su función de seguridad vial a la vez que se permite la entrada del caudal desde una zona impermeable (calzada o carretera) hacia un *SUDS* que no requiera pretratamiento. Esta modificación consiste principalmente en dejar un espacio libre entre los bordillos o rebajar la altura en algunos de sus tramos para dejar que el agua que discurre

Un ejemplo típico de dónde se pueden emplear estos elementos de entrada serían las áreas de biorretención situadas como arriates en calles o las cunetas verdes en carreteras.

La estimación del caudal que puede entrar así en los sistemas dependerá, del tamaño de la abertura en el bordillo (parámetro a dimensionar por el proyectista) y del caudal circulante por la calzada o carretera y de la pendiente. En el *AMSS* este tipo de entradas requieren una atención especial dada los altos valores de pendientes en las calles de gran parte de la extensión del área metropolitana.

El dimensionamiento de las aberturas se puede realizar de una forma relativamente sencilla conociendo el caudal de diseño del *SUDS* y simulando la entrada como un vertedero lateral en el cordón cuneta.

$$Q = C_w \cdot L \cdot h^{5/3}$$

Ecuación 6.2. Caudal entrante por abertura en bordillo.

C_w , coeficiente de descarga del vertedero

L , longitud del vertedero

H , diferencia de alturas en el vertedero

Pretratamientos

Los pretratamientos no siempre son necesarios, aunque con su empleo se alarga la vida útil del *SUDS*, por lo que se ha de procurar incorporarlos si es posible. El objetivo de estos elementos es reducir la velocidad de entrada de la escorrentía

Fase 3: El proyecto SUDS

para evitar que se produzcan erosiones dentro del sistema y retener los principales sólidos arrastrados por el agua.

Su instalación dependerá de la cantidad de sedimentos que se prevean que arrastre la escorrentía de la zona de proyecto y de los requisitos de calidad del agua de entrada al sistema.

Tipos de pretratamientos para entradas:

- *Superficial*: Canal de gravas, reduce la velocidad de flujo y hace precipitar sedimentos en suspensión, se puede instalar en áreas de biorretención, cunetas verdes, estanques o sistemas de infiltración superficiales.
- *Subterránea*: Cámara o pozo de decantación destinado a remover por gravedad las partículas finas que el flujo de agua transporta en suspensión o como arrastre de fondo. Consiste en un pozo con una salida a varios centímetros de la solera (dependiendo de necesidades de diseño). Se deben poner antes de las obras de infiltración subterráneas, como zanjas y pozos de infiltración, si existe un aporte de agua con sedimentos y no se dispone de ninguna otra posibilidad de retirarlos; y antes de los depósitos subterráneos de detención. También son una opción en algunos sistemas de biorretención con entrada canalizada por tubería.

Además, algunos SUDS también pueden hacer de pretratamiento para otros situados aguas abajo. Por ejemplo, las franjas filtrantes pueden servir de pretratamiento de la escorrentía antes de su llegada a una cuneta verde o a una zanja de infiltración, también las cunetas verdes pueden hacer de pretratamiento de agua antes de ir a un estanque.

Da igual la naturaleza del pretratamiento seleccionado, en todos los casos ha de dimensionarse de acuerdo a los caudales de diseño para evitar que sean un obstáculo a la entrada de escorrentía requerida para el correcto funcionamiento del sistema.

ii. Elementos internos

Superficies permeables

Para el caso de pavimentos continuos (concreto y cemento) hay que seguir las recomendaciones de un laboratorio especializado, sobre porosidad, resistencia

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

y velocidad a la que el agua circula a su través, además de cumplir con las especificaciones de calidad.

El diseño de las superficies permeables consta de dos partes, el estructural y el hidrológico. No es objeto de esta guía la primera, por lo que se solo se darán unas nociones del diseño y se recomienda que el diseño estructural lo realiza un laboratorio especializado en este tipo de pavimentos.

El proceso de diseño consta de tres fases:

1. Realización de pruebas al suelo
2. Diseño estructural
3. Diseño hidrológico

Los ensayos a ejecutar tienen por objeto conocer si el suelo tendrá capacidad para sostener e infiltrar el agua de lluvia y son: Granulometría, Infiltración, Próctor (AASHTO T99) y CBR o Placa de Carga (AASHTO T222).

Para el diseño estructural hay que tener en cuenta el tráfico que rodará sobre él, los parámetros específicos del suelo, el espesor de la superficie permeable para realizar un predimensionamiento acorde con AASHTO 93 y PCA.

El objetivo del diseño hidrológico es que la superficie tenga la capacidad de dejar pasar el agua a una velocidad tal que o bien se pueda ir infiltrando en el suelo sin problemas o bien se pueda ir almacenando en una subcapa preparada para almacenar el agua que se va a infiltrar lentamente o que se va a conducir a un punto para su gestión. Puesto que el AMSS se caracteriza por precipitaciones con intensidades muy altas, se hace necesario la presencia de esa subcapa, que se tratará y dimensionará como un sistema de almacenamiento de matriz porosa.

Almacenamiento

Tubos detención

Una forma bastante común actualmente en el AMSS de retener las pluviales en zonas densamente urbanizadas es mediante tubos de grandes dimensiones colocados a una pendiente muy suave que podría estar entre el 0,2% y 0,5% que sirven de almacenamiento para las aguas lluvias.

Al tratarse de un sistema de detención, aun el caso de que se trate de agua procedente exclusivamente de la cubierta solamente, es necesario instalar

Fase 3: El proyecto SUDS

previamente un pretratamiento como una cámara de decantación. Su dimensionamiento se realizará en función del volumen a retener y se incluirá una salida controlada mediante orificio y un aliviadero de emergencia por si la tormenta supera la de 10 años de periodo de retorno, que no comprometa la integridad del sistema.

Prefabricados

Existen varios modelos de elementos prefabricados que permiten almacenar el agua de forma segura y estanca en el subsuelo como los depósitos plásticos o las celdas prefabricadas combinadas con geomembranas impermeabilizantes. Puesto que la forma y tipo de elemento determinan su capacidad de retención y condicionan las entradas y salidas, en esta fase el proyectista ha de evaluar cuál de los elementos prefabricados es más adecuado para la cadena de drenaje. Para ello puede tantear qué elementos se encuentran en el mercado, sus componentes, precios, garantías y capacidades.

Suelo

La mezcla de suelo a emplearse en los sistemas de biorretención ha de permitir que el agua drene en las siguientes 24 horas 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

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

Tabla 6.1. 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

Tabla 6.2. Tamaño grano gravillín. Fuente: Charlotte-Mecklenburg BMP Design Manual

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.

Como estas capas están en contacto con el agua durante una gran parte del tiempo, se debe evaluar la resistencia y durabilidad de las partículas de agregados cuando están saturadas y sujetas a humedecimiento y secado. Los

Fase 3: El proyecto SUDS

materiales tampoco deben aplastarse o degradarse, ya sea durante la construcción o en servicio.

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.

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.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

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.

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.

Fase 3: El proyecto SUDS

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
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

Tabla 6.3. Propiedades de las Geoláminas. Fuente: Charlotte-Mecklenburg BMP Design Manual

Conducción dentro del sistema

Drenes

En áreas de biorretención y pavimentos permeables no siempre podrá darse la infiltración, por lo que se emplean sólo como sistema de almacenamiento. Para evacuar la escorrentía acumulada en la matriz porosa, se requiere entonces de un dren que discurre por la capa drenante, la inferior, recolectando el agua y sacándola del sistema una vez retenida el tiempo considerado en el diseño.

Su dimensionamiento dependerá del caudal necesario a evacuar y puede realizarse aplicando la fórmula:

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

Ecuación 5.3. Caudal de flujo de salida.

q es el flujo de salida (mm / hr),

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

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

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

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

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

Los diámetros típicos de los a emplear en los SUDS suelen estar entre 80 y 300 mm. Dependiendo de la superficie de área a drenar con este tipo de tubos ranurados, habrá que añadir varios que trabajen en serie para la correcta evacuación de la escorrentía almacenada.

Vertederos: Vertedero: conexión superficial escalonada de AB

En terrenos donde la pendiente supera el 5% es conveniente acondicionar el SUDS y muchas veces se hace escalonándolo para ello se hace pasar al agua de una superficie a otra mediante un desnivel, en vez de mantener la pendiente superficial. De esta manera el SUDS se puede dividir en Módulos que se colocan escalonados por motivos de seguridad estructural (para evitar deslizamientos de laderas)

El paso de un Módulo a otro puede determinar la velocidad con la que el agua discurre por la superficie del SUDS, para que la retención dentro de la estructura total que corresponda con la del objetivo de diseño, hay que dimensionar la conducción del agua en todos los Módulos, que puede realizarse mediante las fórmulas de un vertedero transversal de sección rectangular:

$$Q = C_W \cdot L \cdot h^{3/2}$$

Ecuación 6.4. Caudal saliente por vertedero transversal de sección rectangular.

O de sección trapezoidal:

$$Q = C_W \cdot L \cdot h^{3/2} + C_{WS} \cdot S \cdot h^{5/3}$$

Ecuación 6.5. Caudal saliente por vertedero transversal de sección rectangular.

C_W = coeficiente de descarga del vertedero

L = longitud del vertedero

S = pendiente del lado del vertedero en V o del vertedero trapezoidal

h = altura de la lámina vertiente sobre la cresta

C_{WS} = coeficiente de descarga a través de los lados de un vertedero trapezoidal

iii. Salida del sistema

Al igual que con las entradas, es necesario dimensionar las estructuras de salida de los SUDS con capacidad suficiente para transportar el caudal estimado para

Fase 3: El proyecto SUDS

el correcto funcionamiento del SUDS. La salida del sistema se suele producir por colectores abiertos o cerrados que funcionan en lámina libre. Sus características son similares a los de la entrada, deben estar protegidos para que no entren animales, ni se dañen y, dependiendo de cada caso, puede ser necesario establecer elementos de control para evitar la erosión aguas abajo.

Además del punto de vertido para la evacuación del caudal estimado según un periodo de retorno, es conveniente incorporar en el diseño una salida para cuando se superen los volúmenes de diseño que generalmente se denomina aliviadero o rebosadero de emergencia, de esta manera se evitarán sobrecargas en el sistema (que pueden perjudicar su desempeño posterior) y se prevé una ruta segura para el excedente, evitando que salga por zonas no deseadas y cause estragos.

Salida por apertura en sistema de almacenamiento: Orificio

Un orificio es una abertura en el sistema que permite una descarga controlada del caudal de salida. Una forma de estimar el área necesaria que ha de tener este elemento para que la salida de agua se produzca con el caudal de diseño es mediante la ecuación típica de un orificio sumergido:

$$A_0 = \frac{A_s}{C_d} \left(\frac{gt_{descarga}^2}{2h} + 1 \right)^{-1/2}$$

Ecuación 6.6. Área de la sección transversal interna del orificio.

A_0 = Área de la sección transversal interna del orificio (m²)

A_s = Área en planta de la toma de almacenamiento el SUDS (m²) para un volumen de almacenamiento en forma de prisma recto

C_d = Coeficiente de descarga (m). Un valor típico es $C_d = 0,60$ m, si el espesor de la pared donde está es inferior al diámetro del orificio, 0.8; y si los cantos del orificio están redondeados, 0.92

g = Aceleración originada por la gravedad (m/s²).

También es conveniente comprobar que la evacuación por el orificio se produce en un tiempo determinado en el diseño, que en este caso se corresponde con el de vaciado del sistema, es decir, 24 horas.

$$t_{descarga} = \sqrt{\frac{2h}{g} \left(\frac{A_s^2}{(A_0 \cdot C_d)^2} - 1 \right)}$$

Ecuación 6.7. Tiempo de descarga o vaciado.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

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

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

Salidas de emergencia

Estos elementos se instalan para que, cuando se exceda el volumen para el que fue dimensionado un SUDS, se pueda evacuar si poner en riesgo ni el funcionamiento del sistema ni la seguridad y salud de las personas y sus bienes.

Aliviadero en depósitos de detención subterráneos construidos

Generalmente, los depósitos de hormigón o prefabricados llevan un aliviadero en su parte superior para que, una vez que el agua alcanza un determinado nivel, pueda salir sin que el depósito entre en carga o en el caso de que tenga respiraderos, para que el agua no salga sin control por ellos. Esta salida se puede estimar como un vertedero de descarga lateral de sección rectangular:

$$Q = C_W \cdot L \cdot h^{5/3}$$

Ecuación 6.8. Caudal de descarga.

C_W = coeficiente de descarga del vertedero

L = longitud del vertedero

h = altura de la lámina vertiente sobre la cresta

Rebosadero de emergencia

La instalación de rebosaderos de emergencia se recomienda sobre todo donde la incapacidad del sistema para tratar periodos de retorno superiores a los de cálculo pueda causar graves problemas la circulación del excedente de escorrentía. Estos elementos han de instalarse necesariamente en estanques y técnicas de control regional donde se acumulan muchos metros cúbicos de agua a cielo abierto y la salida de caudales que los de diseño pueden causar daños y/o erosiones en los elementos de salida. Un medio típico de darle salida al excedente de caudal es por desbordamiento hacia un canal o zona donde se ha asegurado previamente que no va a producir ninguna afectación. El cálculo de la salida por rebosadero puede efectuarse con la ecuación de vertedero de pared gruesa.

$$Q = C_W \cdot L \cdot h^{3/2}$$

Fase 3: El proyecto SUDS

Ecuación 6.9. Caudal de descarga.

C_w = coeficiente de descarga a través del vertedero

L = longitud del vertedero

S = pendiente del lado del vertedero en V o del vertedero trapezoidal

h = altura de la lámina vertiente sobre la cresta

Tubo perforado

Una forma característica de evacuación de los excedentes de caudal en las áreas de biorretención es mediante el empleo de un tubo vertical con orificios en la parte expuesta de la zona de inundación. Si el agua alcanza la máxima profundidad de almacenamiento prevista, comienza a evacuarse por las hendiduras u orificios del tubo evitando que el sistema desborde. Se puede calcular el caudal que puede salir directamente en función de la altura de la lámina de agua mediante la ecuación:

$$Q = \frac{C_p \cdot 2A_p \cdot (2g)^{1/2} \cdot H^{3/2}}{3H_s}$$

Ecuación 6.10. Caudal de descarga por tubo ranurado vertical.

Q= caudal descargado (m³ / s)

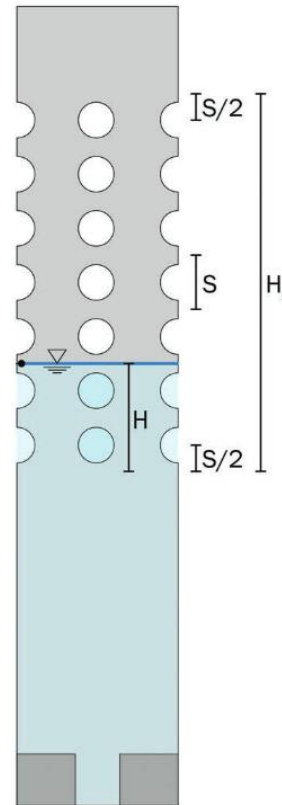


Figura 6.1. Distancia mínima de un sistema de infiltración a una edificación D=X+d. Fuente: CIRIA (2015)

- Cp= coeficiente de descarga (para perforaciones = 0,61)
- Ap= área de sección transversal de todos los orificios (m²)
- H_s= distancia desde S/2 por debajo de la fila más baja de agujeros hasta S/2 por encima de la fila superior cubierta de agua(m)
- S= distancia entre agujeros (m)
- H= altura en el tubo vertical medido desde S/2 debajo de la línea central de la fila más baja de agujeros

Fase 3: El proyecto SUDS

c. Paso 2: Acercamiento al proyecto constructivo

Una vez definidas las dimensiones necesarias para todos los elementos y componentes complementarios del tren de drenaje, el siguiente paso es comprobar la adecuación de los productos existentes en el mercado al proyecto. Si en el primer paso se han dimensionado una serie de colectores y se han identificado los volúmenes necesarios para retener, en esta fase se comprobará que los dispositivos seleccionados cumplen con los criterios de diseño del proyecto. Por ejemplo, se puede haber determinado que se requieren unos colectores de 250 mm de diámetro, pero en el mercado no se encuentra ese valor. Hay que seleccionar el más parecido y comprobar numéricamente su funcionamiento. Y así con todos los elementos cuyas dimensiones vengan predeterminadas. De manera que se verifique numéricamente el correcto funcionamiento de la cadena.

Estos ajustes pueden ser más problemáticos con los elementos de detención prefabricados, puesto que tienen limitadas formas y capacidades. Por ello es interesante que el proyectista vaya mirando de antemano las dimensiones de este tipo de elementos, en caso de saber que los vaya a requerir, para agilizar el proceso de creación del tren de drenaje conociendo las limitaciones espaciales que pueden surgir en el control de los volúmenes de retención.

Puesto que en este paso se van a seleccionar todos los elementos constructivos del proyecto, es conveniente que se establezcan las tareas de mantenimiento de la cadena de gestión. Geoláminas, geotextiles, celdas plásticas, depósitos plásticos, tubos, drenes, etc. pueden tener especificaciones técnicas concretas dependiendo del fabricante. El proyectista deberá seleccionar, según disponibilidad en el mercado, aquellos elementos que menos requerimientos tengan a largo plazo y que faciliten el funcionamiento de los sistemas con las mínimas tareas de mantenimiento posible. Además de, evidentemente, cumplir con la normativa. Los materiales empleados deben tener el certificado de calidad del proveedor como se especifica en el *Reglamento a la Ley de desarrollo y ordenamiento territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños de COAMSS*. En el mismo artículo VII.13 también se señala

que “*Todo fabricante de materiales de construcción y/o importador de los mismos, tendrá la obligación de comprobar y certificar que sus materiales cumplen con las especificaciones ofrecidas, por medio de ensayos de laboratorio realizados por una empresa dedicada a la geotecnia y a la ingeniería de materiales debidamente especializado en el control de calidad de alguno de los materiales, el certificado correspondiente deberá ser extendido por el fabricante.*”

Los SUDS además pueden incluir elementos típicos del drenaje convencional como tubos y tragantes. Sus dimensiones deben cumplir con lo establecido en el artículo V. 62 *Obras de Urbanización para Aguas Lluvias del Reglamento.*

i. Definición de las tareas de mantenimiento

Será el proyectista el que defina las tareas de mantenimiento necesarias para el correcto funcionamiento a largo plazo del SUDS procurando:

- Garantizar un acceso adecuado en todos los puntos del sistema que requiera tareas de mantenimiento
- Incluir los pretratamientos necesarios para minimizar la necesidad limpieza del sistema
- Determinar las frecuencias y requisitos de mantenimiento
- Concretar y clarificar las instrucciones que han de seguir los operarios, así como los puntos que han de evaluar para determinar el sistema está funcionando adecuadamente. La descripción de las tareas de mantenimiento también debe incluir breves detalles de los conceptos de diseño y los criterios de rendimiento del esquema y cómo el propietario u operador debe garantizar que no se comprometa este rendimiento.

El proyectista también deberá considerar los lineamientos establecidos por la autoridad competente, entregando los manuales de operación y mantenimiento a la entidad que ésta defina.

La elaboración del programa de mantenimiento se debe basar en tres aspectos:

- La inspección, es importante la observación frecuente del funcionamiento y estado del sistema en condiciones de operatividad. La inspección de la obra tiene por objeto verificar que opera en las condiciones de diseño,

Fase 3: El proyecto SUDS

comprobar que el mantenimiento es adecuado y proponer modificaciones en caso contrario. Para organizar las inspecciones se propone al proyectista la realización de fichas de inspección a cumplir en las visitas y en la cual se registrarán los puntos más relevantes del estado del sistema y de sus necesidades de reparación.

- Tareas de limpieza y jardinería. La conservación habitual de este tipo de obras es fundamentalmente limpieza y cuidado de las plantas, es decir mantener limpias las superficies cercanas y resolver los problemas estéticos y ambientales frecuentes. Las principales labores son el retiro de basura, el cuidado de la vegetación y la extracción de sedimentos. Lo ideal es que estén integradas con las tareas de la urbanización o municipio donde se integra el *SUDS*.
- La prevención y reparación, que son intrínsecas a cada *SUDS* y dependen además de su uso y exposición al deterioro. En todo caso ciertas labores preventivas se pueden considerar como parte de la rutina de mantenimiento, antes que se produzca la falla de la obra, o en la medida en que se observen efectos apreciables sobre su operatividad.

Los requisitos de mantenimiento y sus frecuencias para cada tipo de *SUDS* vienen descritos en los capítulos del Módulo 3, lo que puede ayudar al proyectista a elaborar el plan de mantenimiento del proyecto, que ha de incluir además unas hojas de control como las mostradas en los Anexos para que los operarios sepan qué han de chequear en las inspecciones.

Técnica	Necesidades de mantenimiento
Cubiertas verdes	Altas
Depósitos de pluviales	Altas
Superficies permeables	Medias
Pozos de infiltración	Bajas
Zanjas de infiltración	Bajas
Estanques de infiltración	Medias
Biorretención	Altas
Franjas filtrantes	Medias
Cunetas verdes	Bajas
Estanques	Medias
Depósitos de detención	Bajas

Tabla 6.4. Necesidades de mantenimiento por técnica. Fuente: Adaptación de CIRIA (2015)

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Es muy importante definir las tareas de mantenimiento y establecer responsabilidades, a nivel usuario particular y a nivel municipal si es necesario, ya que el funcionamiento adecuado de los SUDS depende de su correcto estado.

d. Paso 3: Creación de un modelo de simulación SUDS

La última revisión de la cadena ha de realizarse mediante un software de simulación que ayude a comprobar el comportamiento integrado de todos los componentes del tren de drenaje y su interacción con las redes de drenaje primario y/o secundario.

En la revisión final del modelo mediante software, hay que comprobar como mínimo:

- Que los elementos no se colapsan para la lluvia de diseño ni durante las 24 horas después se producen interacciones negativas con las laminaciones de los caudales en los diferentes dispositivos de almacenamiento
- Que se pueden transportar los caudales por los sistemas de transporte dejando un resguardo de seguridad del 20% en aquellos conductos de nueva construcción
- Que el comportamiento de los sistemas localizados aguas abajo no interfiere en el funcionamiento de técnicas aguas arriba
- En caso de que se vierta a una red existente también se deberá incorporar al modelo para comprobar que el aporte de caudal del proyecto no causa incapacidad del sistema
- Que las velocidades de flujo y las profundidades de la escorrentía en los elementos no ponen en riesgo la seguridad y salud de las personas.

Software que permiten la comprobación de un modelo de cadena de gestión de drenaje hay varios, algunos libres y otros de pago. En el apartado *Herramientas* de los *Anexos* se muestran algunos de los más representativos.

Se use el que sea, se deberá simular la hidráulica con el modelo de onda dinámica, a pesar de que el AMSS tiene pendientes altas pueden aparecer interacciones de aguas abajo hacia aguas arriba en el desarrollo de la cadena que hay que contemplar.

Hoja dejada intencionadamente en blanco



CAPÍTULO 7

Informe final de diseño



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Informe final de diseño

Una vez definido el modelo de proyecto, realizados todos los cálculos, dimensionados los elementos principales y accesorios y comprobado su funcionamiento numéricamente. Se elabora un informe final con doble propósito:

- Servir de guía al constructor que ejecutará el proyecto
- Reflejar la información solicitada y necesaria para la obtención de los permisos de Parcelación y Construcción de la OPAMSS.

Puesto que los *SUDS* constituyen una vía que facilita la obtención de puntos para el logro de la certificación *HAUS*, ya que suponen una gestión más sostenible de las pluviales y la reducción de la contaminación de la escorrentía, el formato de presentación del proyecto ha de seguir el formato especificado en la guía *HAUS*.

En el *Anexo B* de dicha guía se especifica los estudios necesarios realizar en el ámbito hidrológico/hidráulico:

- Identificación, descripción de las formaciones y miembros geológicos, de los sistemas acuíferos presentes en la zona de interés, así como sistemas de flujo locales superficiales y profundos.
- Recopilación de información sobre pozos excavados, manantiales y perforados en la zona.
- Perforación de un pozo o zanja exploratoria y uso de geofísica para verificar estratigrafía, que permita realizar pruebas de permeabilidad en estratos donde se infiltrará y recargará.
- Construcción de columna lito-estratigráfica de la zona en la que se ubica el proyecto.
- Identificar la profundidad de la zona parcialmente saturada del subsuelo.
- Identificar por medio de sensores remotos (fotografías aéreas e imágenes satelitales) y visitas de campo zonas de alineamientos y fracturamiento de la superficie.
- Determinación de las unidades hidrogeológicas.

Informe final de diseño

- Definición del sistema acuífero al que se va a recargar y la presentación de las implicaciones en sistemas someros o locales, valorando la posibilidad de que se generen acuíferos colgados en la zona.
- Determinación de volúmenes de recarga a partir de la capacidad de infiltración básica de los materiales geológicos.
- Presentación de cálculos y detalles de infraestructura para la recarga, incluyendo medidas para evitar la colmatación y contaminación, tales como sedimentadores.
- Definición de los parámetros del agua a recargar y los mecanismos necesarios para garantizar la calidad de esta dentro del sistema acuífero.
- Precisar qué tipo de aguas se infiltrará, es decir, si solamente el agua de los techos, o de toda superficie impermeable, considerando además un diseño adecuado por arrastre de sólidos, hidrocarburos, o cualquier tipo de contaminante.
- Realizar un análisis de la cuenca.
- Considerar el diseño de tormentas con un periodo de retorno de 10 años.
- Diseñar las obras hidráulicas adecuadas, considerando medidas de mantenimiento en caso de asolvamiento y colmatación de pozos.
- Diseñar el manejo adecuado del excedente de agua que va a los pozos de infiltración.
- Identificar el grado de contaminación y elevación del nivel de aguas de río o quebrada, cuando la recarga e infiltración se ubica en su zona de influencia; tomando en cuenta el periodo de recurrencia de inundaciones, con el fin de evitar la inundación del pozo y la contaminación del acuífero.

Estos estudios se corresponden con los necesarios para caracterizar el terreno (visto en fase I de diseño), pero para que el proyecto pueda ser evaluado y optar a la certificación de sostenibilidad, deberá cumplir e incorporar el Anexo 1 en la presentación de la memoria descriptiva.

En lo referente por exclusive a los SUDS incluidos en el terreno, es recomendable incluir, además:

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

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

El proyectista deberá tener en cuenta que, una vez realizada la construcción de un sistema de infiltración, deberá realizar una prueba de funcionamiento la cual deberá ser incluida en las inspecciones técnicas de seguimiento en atención a lo establecido en el artículo VIII.26 “Inspecciones de las obras” del Reglamento.

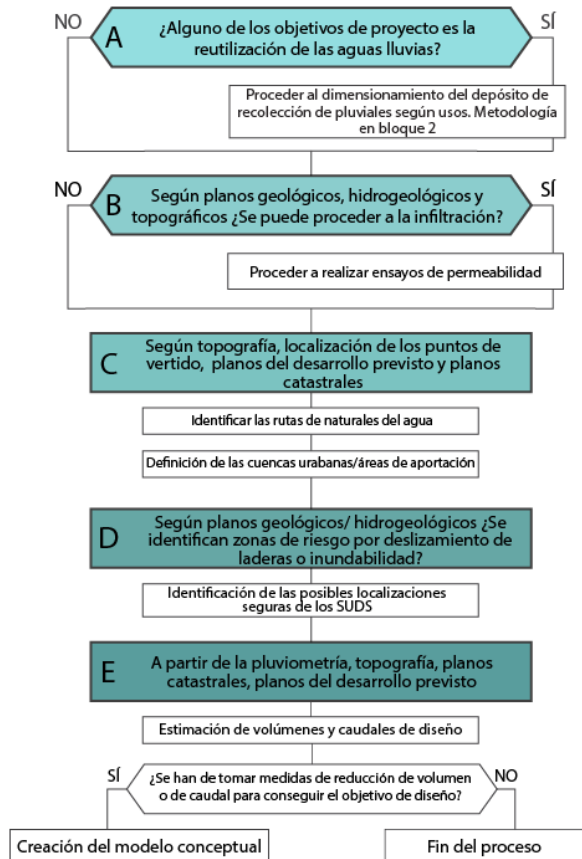
Informe final de diseño

1 RECOPIACIÓN DE DATOS

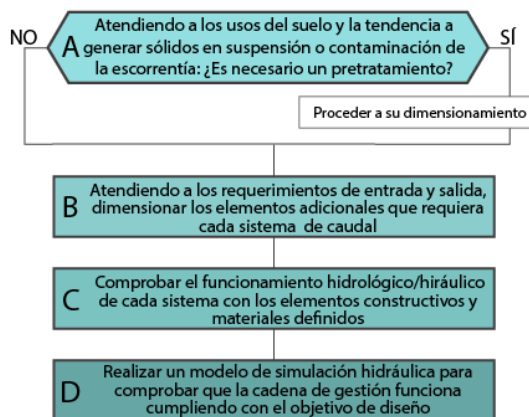
En función del alcance del proyecto

- 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

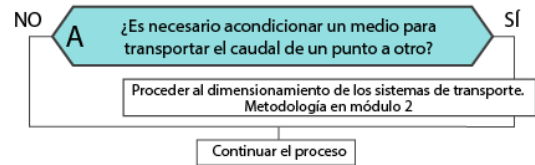


4 CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECTO

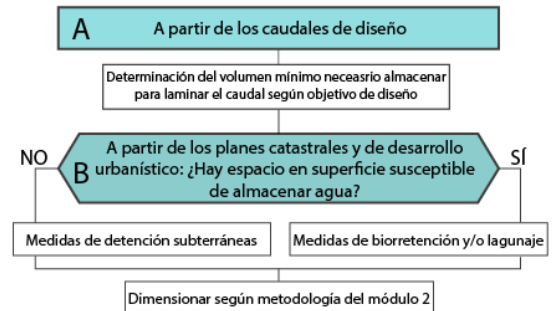


3 CREACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

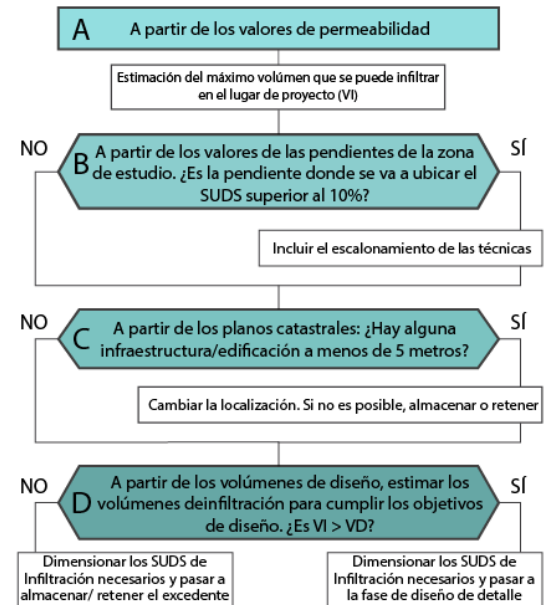
CONDUCCIÓN



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

Figura 2. 3. Esquema de las fases de diseño.

Fichas de control

Para facilitar al proyectista la presentación de la documentación necesaria relativa a los SUDS para la obtención de la licencia pertinente, se proponen una serie de fichas que puede presentar adjuntas con el informe final de proyecto.

1. Relativas a la documentación que se presenta adjunta según envergadura de proyecto.
2. Relativas a las dimensiones y capacidades de cada una de las técnicas desarrolladas en proyecto

1. Documentación adjunta

La información y datos a estudiar dependerán del tamaño de la zona de actuación. Para intervenciones inferiores a los 500 m² (medidas de control en origen principalmente), como puede ser por ejemplo la construcción de una casa o un edificio en altura de viviendas, la documentación adjunta a presentar será menor que en intervenciones mayores donde hay más factores que analizar.

Informe final de diseño

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			

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

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			

Informe final de diseño

2. Características de los SUDS de proyecto

A continuación, se proponen una serie de fichas para cada uno de los sistemas de drenaje urbano sostenible mostrados en el Módulo 3. Se trata de unas tablas para rellenar con las dimensiones de cada uno de los componentes de cada SUDS, son unas fichas generales, por poner un ejemplo, en la ficha de zanjas filtrantes vienen definidos varios elementos de entrada, pero en un proyecto sólo entra el caudal por una vía. Por tanto, la ficha a entregar en el informe final solo tendrá que especificar las dimensiones de esa vía.

Áreas de biorretención

Condicionantes externos

Área de aportación (m ²)	
Pendiente del terreno %	
Volumen a gestionar (m ³)	

Medidas de escalonamiento (pendiente superior al 10%)	Sí	No	Precipitación de diseño	Tr= 5años	
				Tr= 10años	

Pretratamiento

Cámara de sedimentación	Sí		Canal de gravas	Sí		Otro	Sí
	No			No			No
Cámara de sedimentación	Cámara de sedimentación 1	Cámara de sedimentación n	Canal de grava	Canal de grava 1	Canal de grava n	Dimensiones y capacidad	
Nivel de tapadera			Longitud (m)				
Nivel de fondo			Ancho (m)				
Nivel de descarga			Pendiente (m/m)				
Altura (m)			Pendiente talud (H/V)				
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)			Q _{entrada} (m ³ /s)				
Largo (m)							
Volumen (m ³)							

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Canal de ingreso	Longitud (m)	Ancho (m)	Pendiente (m/m)	Pendiente talud (H/V)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Tubo ingreso 1				Canal de ingreso 1					
Tubo ingreso 2				Canal de ingreso 2					
Tubo ingreso n				Canal de ingreso n					

Informe final de diseño

Entrada en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Otro tipo de entrada	Descripción dimensiones:			Q _{entrada} (m ³ /s)
						Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Lámina ingreso 1					1				
Lámina ingreso 2					2				
Lámina ingreso n					n				

Sistema

Forma:	Tipología	Materiales empleados		
Rectangular	Control en origen	Geolámina	Otros	
Circular	Control local	Geotextil	Ninguno	
Otro especifique				

Tipología:	Retardo	Infiltración	Ambos	k = Coeficiente de permeabilidad del lecho poroso (m/s)	T _P = Tiempo de percolación del agua a través del medio filtrante (h)	T _V = Tiempo de vaciado del sistema (h)

Relleno de almacenamiento	Gravas/rocas	Celdas plásticas	Otro	Mixtura de plantas	Vegetación hidrofitas	Vegetación nativa	Otro especifique

Número	Celdas plásticas				Gravas/rocas			Otro tipo de relleno		
	Ancho celda (m)	Largo celda (m)	Alto celda (m)	Volumen útil (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Tamaño de grano (mm)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Descripción del relleno

Área superficial de biorretención (m ²)	Área total en planta del sistema (m ²)	Ancho total área de biorretención (m)	Largo área de biorretención (m)	Perímetro área superficial de biorretención(m)	Profundidad de encharcamiento (m)
Inclinación de taludes internos (H/V)	Altura capa de mezcla de suelo (m)	Altura capa de almacenamiento (m)	Porosidad de la capa de mezcla de suelo %	Porosidad de la capa de almacenamiento %	Volumen de agua máximo almacenado (m ³)

Salida interna del sistema

Dren inferior de descarga	Díámetro (m)	Pendiente (m/m)	Área orificios del tubo/m ² tubo	Q salida (m ³ /s)
Dren 1				
Dren 2				
Dren n				

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

SI SE PRODUCE INFILTRACIÓN	Superficie a través de la que se produce la infiltración (m ²)	K = permeabilidad del suelo (m/h)	Cs Factor de seguridad empleado	Tiempo de infiltración (h)	Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)

Elementos a la salida del sistema

Caja de desfogue	Caja de desfogue 1	Caja de desfogue n
Nivel de tapadera		
Nivel de fondo		
Nivel de descarga		
Altura (m)		
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)		
Largo (m)		
Volumen (m ³)		

Salida del sistema	Tubería de desfogue	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q desfogue (m ³ /s)
Pozo de red	Tubo desfogue 1			
Medio natural	Tubo desfogue 2			
Cordón cuneta	Tubo desfogue n			

Rebose del sistema

Tipo	Descarga del rebose
Tubo vertical perforado	Pozo de red
Vertedero	Medio natural
Otro	Cordon cuneta

Vertedero	Longitud (m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida rebose (m ³ /s)	Otro tipo de rebose	Descripción dimensiones:			Q salida rebose (m ³ /s)
					Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Vertedero 1				1				
Vertedero 2				2				
Vertedero n				n				

Tubo vertical perforado/con reja	Longitud perpendicular al agua (m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida rebose (m ³ /s)
Tubo vertical perforado/con reja 1			
Tubo vertical perforado/con reja 2			
Tubo vertical perforado/con reja n			

Pozos de infiltración

Condicionantes externos

Área de aportación (m ²)	
Pendiente del terreno %	
Volumen a gestionar (m ³)	

Precipitación de diseño	Tr= 5años	
	Tr= 10años	

Pretratamiento

Cámara de sedimentación	Sí		Canal de gravas	Sí		Otro	Sí
	No			No			No
Cámara de sedimentación	Cámara de sedimentación 1	Cámara de sedimentación n	Canal de grava	Canal de grava 1	Canal de grava n	Dimensiones y capacidad	
Nivel de tapadera			Longitud (m)				
Nivel de fondo			Ancho (m)				
Nivel de descarga			Pendiente (m/m)				
Altura (m)			Pendiente talud (H/V)				
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)			Q _{entrada} (m ³ /s)				
Largo (m)							
Volumen (m ³)							

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Canal de ingreso	Longitud (m)	Ancho (m)	Pendiente (m/m)	Pendiente talud (H/V)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Tubo ingreso 1				Canal de ingreso 1					
Tubo ingreso 2				Canal de ingreso 2					
Tubo ingreso n				Canal de ingreso n					
Entrada en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Otro tipo de entrada	Descripción dimensiones:			Q _{entrada} (m ³ /s)
						Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Lámina ingreso 1					1				
Lámina ingreso 2					2				
Lámina ingreso n					n				

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Sistema

Forma:		Tipología		Materiales empleados			
Rectangular		Control en origen		Arena		Otros	
Circular		Control local		Gravillín		Geotextil	
Otro especifique							

Relleno de almacenamiento	Gravas/rocas	Celdas plásticas	Otro	Pozo de inspección	Sí	Número
					No	

Celdas plásticas				Gravas/rocas			Otro tipo de relleno			
Número	Ancho celda (m)	Largo celda (m)	Alto celda (m)	Volumen útil (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Tamaño de grano (mm)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Descripción del relleno

Pozo cilíndrico	
Pozo prismático	
Diámetro del pozo (cilíndrico)	
Largo total del pozo (m) (prismático)	
Ancho total del pozo (m)	
Profundidad total del pozo (m) (prismático)	
Superficie a través de la que se produce la infiltración (m ²)	
K = permeabilidad del suelo (m/h)	
Cs Factor de seguridad	
TV = Tiempo de vaciado del sistema (h)	
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	

Rebose del sistema

Desvío de excedente de caudal, rebose previo a la entrada de caudal al pozo

Cámara de control de caudal de entrada	Sí
	No

Zanjas de infiltración

Condicionantes externos

Área de aportación (m ²)	
Pendiente del terreno %	
Volumen a gestionar (m ³)	

Medidas de escalonamiento (pendiente superior al 5%)	Sí	No	Precipitación de diseño	Tr= 5años	
				Tr= 10años	

Pretratamiento

Cámara de sedimentación	Sí		Franja de grama	Sí		Otro	Sí
	No			No			No
Cámara de sedimentación	Cámara de sedimentación 1	Cámara de sedimentación n	Franja de grama	Canal de grava 1	Canal de grava n	Dimensiones y capacidad	
Nivel de tapadera			Longitud (m)				
Nivel de fondo			Ancho (m)				
Nivel de descarga			Pendiente (m/m)				
Altura (m)			Pendiente talud (H/V)				
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)			Q _{entrada} (m ³ /s)				
Largo (m)							
Volumen (m ³)							

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Canal de ingreso	Longitud (m)	Ancho (m)	Pendiente (m/m)	Pendiente talud (H/V)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Tubo ingreso 1				Canal de ingreso 1					
Tubo ingreso 2				Canal de ingreso 2					
Tubo ingreso n				Canal de ingreso n					

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Entrada en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Otro tipo de entrada	Descripción dimensiones:			Q _{entrada} (m ³ /s)
						Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Lámina ingreso 1					1				
Lámina ingreso 2					2				
Lámina ingreso n					n				

Sistema

Tipología		Materiales empleados		
Control en origen		Geolámina	Otros	
Control local		Geotextil	Ninguno	

Relleno de almacenamiento	Gravas/rocas	Celdas plásticas	Otro	Pozo de inspección	Sí	Número
					No	

Celdas plásticas					Gravas/rocas			Otro tipo de relleno		
Número	Ancho celda (m)	Largo celda (m)	Alto celda (m)	Volumen útil (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Tamaño de grano (mm)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Descripción del relleno

Largo total de la zanja (m) (prismático)	
Ancho total de la zanja (m)	
Profundidad total de la zanja (m) (prismático)	
Superficie a través de la que se produce la infiltración (m ²)	
K = permeabilidad del suelo (m/h)	
Cs Factor de seguridad	
TV = Tiempo de vaciado del sistema (h)	
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	

Salida del sistema

Dren inferior de descarga	Diámetro (m)	Pendiente (m/m)	Área orificios del tubo/m ² tubo	Q salida (m ³ /s)
Dren 1				
Dren 2				
Dren n				

Caja de desfogue	Caja de desfogue 1	Caja de desfogue n
Nivel de tapadera		
Nivel de fondo		
Nivel de descarga		
Altura (m)		
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)		

Informe final de diseño

Largo (m)		
Volumen (m3)		

Salida del sistema		Tubería de desfogue	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q desfogue (m3/s)
Pozo de red		Tubo desfogue 1			
Medio natural		Tubo desfogue 2			
Cordón cuneta		Tubo desfogue n			

Rebose del sistema

Salida del excedente de caudal por la superficie

Elemento preparado para la salida controlada	Salida en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida (m ³ /s)
Sí					
No	Lámina				

Lagunas de infiltración

Condicionantes externos

Área de aportación (m ²)	
Pendiente del terreno %	
Volumen a gestionar (m ³)	

Medidas de escalonamiento (pendiente superior al 10%)	Sí	No	Precipitación de diseño	Tr= 5años	
				Tr= 10años	

Pretratamiento

Cámara de sedimentación	Sí		Franja de grama	Sí		Otro	Sí
	No			No			No
Cámara de sedimentación	Cámara de sedimentación 1	Cámara de sedimentación n	Franja de grama	Canal de grava 1	Canal de grava n	Dimensiones y capacidad	
Nivel de tapadera			Longitud (m)				
Nivel de fondo			Ancho (m)				
Nivel de descarga			Pendiente (m/m)				
Altura (m)			Pendiente talud (H/V)				
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)			Q _{entrada} (m ³ /s)				
Largo (m)							
Volumen (m ³)							

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Canal de ingreso	Longitud (m)	Ancho (m)	Pendiente (m/m)	Pendiente talud (H/V)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Tubo ingreso 1				Canal de ingreso 1					
Tubo ingreso 2				Canal de ingreso 2					
Tubo ingreso n				Canal de ingreso n					

Informe final de diseño

Entrada en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Otro tipo de entrada	Descripción dimensiones:			Q _{entrada} (m ³ /s)
						Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Lámina ingreso 1					1				
Lámina ingreso 2					2				
Lámina ingreso n					n				

Sistema

Tipología		Materiales empleados como filtro			
Control en origen		Arena		Otros	
Control local		Geotextil		Ninguno	

Superficie a través de la que se produce la infiltración (m ²)	
K = permeabilidad del suelo (m/h)	
Cs Factor de seguridad	
TV = Tiempo de vaciado del sistema (h)	
Volumen de agua a infiltrar (m ³)	
Altura de la lámina de agua (mm)	

Rebose del sistema

Salida del sistema		Tubería de desfogue	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q desfogue (m ³ /s)
Pozo de red		Tubo desfogue 1			
Medio natural		Tubo desfogue 2			
Cordón cuneta		Tubo desfogue n			

Caja de desfogue	Caja de desfogue 1	Caja de desfoguen n
Nivel de tapadera		
Nivel de fondo		
Nivel de descarga		
Altura (m)		
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)		
Largo (m)		
Volumen (m ³)		

Salida del excedente de caudal por la superficie

Elemento preparado para la salida controlada	Salida en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{salida} (m ³ /s)
Sí					
No	Lámina				

Superficies Permeables

Condicionantes externos

¿Recibe sólo agua de precipitación directa?	Sí	No
Área de aportación externa (m ²)		
Área total (superficie permeable y aportación externa) (m ²)		
Pendiente del terreno %		
Volumen a gestionar (m ³)		

Medidas de escalonamiento (pendiente superior al 5%)	Sí	No	Precipitación de diseño	Tr= 5años	
				Tr= 10años	

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Tubo ingreso 1			
Tubo ingreso 2			
Tubo ingreso n			

Entrada en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Otro tipo de entrada	Descripción dimensiones:			Q _{entrada} (m ³ /s)
						Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Lámina ingreso 1					1				
Lámina ingreso 2					2				
Lámina ingreso n					n				

Sistema

Tipología		Materiales empleados		
Control en origen		Geolámina		Otros
Control local		Geotextil		Ninguno

Tipo de superficie	Gramoquín	Gravas	Concreto	Bloques permeables	Bloques impermeables	Otro

Informe final de diseño

Relleno de almacenamiento	Gravas/rocas	Celdas plásticas	Otro

Número	Celdas plásticas				Gravas/rocas			Otro tipo de relleno		
	Ancho celda (m)	Largo celda (m)	Alto celda (m)	Volumen útil (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Tamaño de grano (mm)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Descripción del relleno

Materiales empleados como filtro			
Arena		Otros	
Gravillín		Geotextil	

Superficie total (m ²)	
Capacidad hidráulica de la superficie permeable (mm/h)	
Espesor de la superficie permeable (mm)	
Espesor de la superficie de almacenamiento (mm)	
Volumen útil de almacenamiento (m ³)	
Superficie a través de la que se produce la infiltración (m ²)	
K = permeabilidad del suelo (m/h)	
Cs Factor de seguridad	
Tiempo de vaciado del sistema por infiltración (h)	
Tiempo de vaciado del sistema por dren (de llevar) (h)	
Volumen de agua a infiltrar (m ³)	
Altura de la lámina de agua (mm)	

Rebose del sistema

Salida del sistema	Tubería de desfogue	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q desfogue (m ³ /s)
Pozo de red	Tubo desfogue 1			
Medio natural	Tubo desfogue 2			
Cordón cuneta	Tubo desfogue n			

Caja de desfogue	Caja de desfogue 1	Caja de desfogue n
Nivel de tapadera		
Nivel de fondo		
Nivel de descarga		
Altura (m)		
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)		
Largo (m)		
Volumen (m ³)		

Salida del excedente de caudal por la superficie

Elemento preparado para la salida controlada	Salida en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida (m ³ /s)
Sí					
No	Lámina				

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	Canal de grava 1	Canal de grava n
Longitud (m)		
Ancho (m)		
Pendiente (m/m)		
Pendiente talud (H/V)		
Q _{entrada} (m ³ /s)		

Dimensiones y capacidad

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 1				
Lámina ingreso 2				
Lámina ingreso n				

Sistema

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

Informe final de diseño

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	

Cunetas verdes

Condicionantes externos

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

Medidas de escalonamiento (pendiente superior al 3%)	Sí	No

Precipitación de diseño	Control local	Tr= 10años	
	Control regional	Tr= 20años	

Pretratamiento

Canal de gravas	Sí
	No

Otro	Sí
	No

Canal de grava	Canal de grava 1	Canal de grava n	Dimensiones y capacidad
Longitud (m)			
Ancho (m)			
Pendiente (m/m)			
Pendiente talud (H/V)			
Q _{entrada} (m ³ /s)			

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Tubo ingreso 1			
Tubo ingreso 2			
Tubo ingreso n			

Entrada en lámina de	Longitud	Pendiente (m/m)	Altura lámina	Q _{entrada} (m ³ /s)
----------------------	----------	-----------------	---------------	--

Informe final de diseño

agua	perpendicular al agua (m)		de agua (m)	
Lámina ingreso 1				
Lámina ingreso 2				
Lámina ingreso n				

Sistema

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

Ancho base (m)		n Manning	
Largo (m)		Q (m ³ /s)	
Pendiente (m/m)		Altura lámina de agua (mm)	
Altura (m)		Q (m ³ /s)/ metro lineal (perpendicular al flujo)	
Pendiente talud 1 (V/H)			
Pendiente talud 2 (V/H)			

Relleno de almacenamiento	Gravas/rocas	Celdas plásticas	Otro

Celdas plásticas					Gravas/rocas			Otro tipo de relleno		
Número	Ancho celda (m)	Largo celda (m)	Alto celda (m)	Volumen útil (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Tamaño de grano (mm)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Descripción del relleno

Materiales empleados como filtro			
Arena		Otros	
Gravillín		Geotextil	

Salida del sistema

Salida del sistema	
Medio natural	
Otro SUDS	

Estanques de laminación

Condicionantes externos

Área de aportación (m ²)	
Pendiente del terreno %	
Volumen a gestionar (m ³)	

Precipitación de diseño	Control local	Tr= 10años	
	Control regional	Tr= 25años	

Pretratamiento

Cámara de sedimentación	Sí		Canal de grava	Sí		Otro	Sí
	No			No			No
Cámara de sedimentación	Cámara de sedimentación 1	Cámara de sedimentación n	Canal de grava	Canal de grava 1	Canal de grava n	Dimensiones y capacidad	
Nivel de tapadera			Longitud (m)				
Nivel de fondo			Ancho (m)				
Nivel de descarga			Pendiente (m/m)				
Altura (m)			Pendiente talud (H/V)				
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)			Q _{entrada} (m ³ /s)				
Largo (m)							
Volumen (m ³)							

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Canal de ingreso	Longitud (m)	Ancho (m)	Pendiente (m/m)	Pendiente talud (H/V)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Tubo ingreso 1				Canal de ingreso 1					
Tubo ingreso 2				Canal de ingreso 2					
Tubo ingreso n				Canal de ingreso n					
Entrada en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Otro tipo de entrada	Descripción dimensiones:			Q _{entrada} (m ³ /s)
						Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Lámina ingreso					1				

Informe final de diseño

1									
Lámina ingreso 2					2				
Lámina ingreso n					n				

Sistema

Superficie base (m ²)	
Altura máxima (m)	
Espejo de agua a máximo llenado (m ²)	
Volumen útil de almacenamiento (m ³)	
TV = Tiempo de vaciado del sistema (h)	
Q máximo de salida (m ³ /s)	

Salida del sistema

Cámara de descarga	Caja de desfogue 1	Caja de desfoguen n
Nivel de tapadera		
Nivel de fondo		
Nivel de descarga		
Altura (m)		
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)		
Largo (m)		
Volumen (m ³)		
Q salida rebose (m ³ /s)		

Orificio	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q salida (m ³ /s)
Orificio 1			
Orificio 2			
Orificio n			

Tubería de salida	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q salida (m ³ /s)
Tubo salida 1			
Tubo salida 2			
Tubo salida n			

Rebose del sistema

Tipo		Descarga del rebose	
Vertedero		Pozo de red	
Otro		Medio natural	
		Cordón cuneta	

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Vertedero	Longitud (m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida rebose (m ³ /s)	Otro tipo de rebose	Descripción dimensiones:			Q salida rebose (m ³ /s)
					Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Vertedero 1				1				
Vertedero 2				2				
Vertedero n				n				

Depósito de recolección de pluviales

Condicionantes externos

Área de aportación (m ²)	
Precipitaciones medias (mm)	
Volumen máximo a recolectar (m ³)	
Usos del agua definidos (m ³)	

Pretratamiento

Cámara de sedimentación	Sí		Filtro	Sí	Otro	Sí
	No			No		No
Cámara de sedimentación	Cámara de sedimentación 1	Cámara de sedimentación n	Tipo de filtro		Dimensiones y capacidad	
Nivel de tapadera			Superficie de filtro (cm) ²			
Nivel de fondo			Permeabilidad del filtro (mm/h)			
Nivel de descarga			Deflector antiturbulencia	Sí		
Altura (m)				No		
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)						
Largo (m)						
Volumen (m ³)						

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Otro tipo de entrada	Descripción dimensiones:			Q _{entrada} (m ³ /s)
					Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Tubo ingreso 1				1				
Tubo ingreso 2				2				
Tubería de ingreso n				n				

Sistema

Superficie base (m ²)	
Altura máxima (m)	
Espejo de agua a máximo llenado (m ²)	
Volumen útil de almacenamiento (m ³)	

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Salida del sistema

Manual	Automática	Ambas
Bombeo		
Sí	No	

Tubo de salida	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q salida (m ³ /s)
Tubo 1			
Tubo 2			
Tubo n			

Rebose del sistema

Tipo		Descarga del rebose	
Vertedero		Pozo de red	
Otro		Medio natural	
		Cordón cuneta	

Tubería de salida	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q salida (m ³ /s)
Tubo salida 1			
Tubo salida 2			
Tubo salida n			

Vertedero	Longitud (m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida rebose (m ³ /s)	Otro tipo de rebose	Descripción dimensiones:			Q salida rebose (m ³ /s)
					Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Vertedero 1				1				
Vertedero 2				2				
Vertedero n				n				

Depósitos subterráneos de detención

Condicionantes externos

Área de aportación (m ²)	
Pendiente del terreno %	
Volumen a gestionar (m ³)	

Precipitación de diseño	Control local	Tr= 10años	
	Control regional	Tr= 25años	

Pretratamiento

Cámara de sedimentación	Sí		Canal de grava	Sí		Otro	Sí
	No			No			No
Cámara de sedimentación	Cámara de sedimentación 1	Cámara de sedimentación n	Canal de grava	Canal de grava 1	Canal de grava n	Dimensiones y capacidad	
Nivel de tapadera			Longitud (m)				
Nivel de fondo			Ancho (m)				
Nivel de descarga			Pendiente (m/m)				
Altura (m)			Pendiente talud (H/V)				
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)			Q _{entrada} (m ³ /s)				
Largo (m)							
Volumen (m ³)							

Entrada al sistema

Tubería de ingreso	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Canal de ingreso	Longitud (m)	Ancho (m)	Pendiente (m/m)	Pendiente talud (H/V)	Q _{entrada} (m ³ /s)
Tubo ingreso 1				Canal de ingreso 1					
Tubo ingreso 2				Canal de ingreso 2					
Tubo ingreso n				Canal de ingreso n					

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Entrada en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q _{entrada} (m ³ /s)	Otro tipo de entrada	Descripción dimensiones:			Q _{entrada} (m ³ /s)
						Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Lámina ingreso 1					1				
Lámina ingreso 2					2				
Lámina ingreso n					n				

Sistema

Superficie base (m ²)	
Altura máxima (m)	
Espejo de agua a máximo llenado (m ²)	
Volumen útil de almacenamiento (m ³)	
TV = Tiempo de vaciado del sistema (h)	
Q máximo de salida (m ³ /s)	

Salida del sistema

Cámara de descarga	Caja de desfogue 1	Caja de desfoguen n
Nivel de tapadera		
Nivel de fondo		
Nivel de descarga		
Altura (m)		
Ancho (perpendicular al fuljo) (m)		
Largo (m)		
Volumen (m ³)		
Q salida rebose (m ³ /s)		

Orificio	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q salida (m ³ /s)
Orificio 1			
Orificio 2			
Orificio n			

Tubería de salida	Diámetro (m)	Nivel (m)	Q salida (m ³ /s)
Tubo salida 1			
Tubo salida 2			
Tubo salida n			

Informe final de diseño

Rebose del sistema

Tipo		Descarga del rebose	
Vertedero		Pozo de red	
Otro		Medio natural	
		Cordón cuneta	

Vertedero	Longitud (m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida rebose (m ³ /s)	Otro tipo de rebose	Descripción dimensiones:			Q salida rebose (m ³ /s)
					Ancho (m)	Largo(m)	Profundidad (m)	
Vertedero 1				1				
Vertedero 2				2				
Vertedero n				n				

Techos verdes

Condicionantes externos

Área total (superficie permeable y aportación externa) (m ²)	
Pendiente del techo %	
Volumen a gestionar (m ³)	

Precipitación de diseño	Tr= 5años	
	Tr= 10años	

Sistema

Materiales empleados		Tipo de ustrato /vegetación	
Geolámina		Sustrato	
Geotextil		Mixtura de plantas	
Capa herbicida		Vegetación nativa	
Otros		Otro, especifique	
Ninguno			

Tipo de capa drenante	Gravas/rocas	Celdas plásticas	Otro

Celdas plásticas					Gravas/rocas			Otro tipo de relleno		
Número	Ancho celda (m)	Largo celda (m)	Alto celda (m)	Volumen útil (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Tamaño de grano (mm)	Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Descripción del relleno

Salida en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida (m ³ /s)
Lámina				

Salida del sistema

Salida	Bajante	Número de salidas	

Informe final de diseño

	Otro	Tipo protección de las salidas		
Salida en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (m)	Q salida (m ³ /s)
Lámina 1				
Lámina 2				
Lámina n				

Punto de salida	Tipo de elemento	Nivel sobre el techo verde (cm)	Diámetro (mm)	Q salida rebose (m ³ /s)
1				
2				
n				



CAPÍTULO 8

Principios básicos de diseño



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Principios básicos de diseño

Los tres principios básicos que ha de considerar el proyectista en la realización del diseño son:

- Calidad de servicio ofrecido
- Relación entre coste y eficacia
- Sostenibilidad

a. Calidad de servicio ofrecido

La calidad del servicio puede ser descrita como la eficacia de los elementos para servir a su propósito. En términos de drenaje urbano, podemos distinguir los siguientes propósitos:

- Protección ante las inundaciones
- Capacidad para tratar la contaminación
- Mejora estética de la zona
- Beneficios sociales
- Cumplir requisitos de seguridad

La protección frente a una inundación debe proporcionarse a un nivel mínimo de servicio. Los riesgos a las personas y los beneficios que puedan tener se deben plantear en el diseño.

b. Rentabilidad

Un análisis del coste del sistema debe demostrar que es viable en el aspecto financiero. El diseño de un proyecto debe tener como objetivo proporcionar la solución más rentable, sobre todo en lo referente a los requisitos de mantenimiento. Esto requiere tener en cuenta el coste global del sistema, desde su construcción hasta los costes de mantenimiento y reparación en los años venideros, además de analizar las posibles opciones alternativas. La evaluación más apropiada del sistema debe incluir los tres beneficios más importantes, los hidráulicos, la mejora de la calidad de agua y los ambientales.

c. Principio de sostenibilidad

Hay muchas definiciones para el término **sostenibilidad**, pero en términos de drenaje se puede interpretar como:

- La utilización de la mínima cantidad de recursos y materiales en los procesos constructivos
- La reducción del impacto ambiental en su construcción y funcionamiento
- La replicación de hidrograma pre-desarrollo urbanístico en la medida de lo posible

Los SUDS deben considerarse dentro de un enfoque holístico, basado en el marco de la sostenibilidad. Esto significa que todos los costes y beneficios ambientales, junto con los factores económicos y sociales, deben ser evaluados en el proceso de decisión, especialmente cuando se comparan estas técnicas con el drenaje convencional. Para ello se requiere de la identificación y consideración de factores, tales como la energía necesaria para la construcción de las zanjas de drenaje convencional, la pérdida de hábitat por el desarrollo urbano y los impactos de las inundaciones sobre el valor de las propiedades inmobiliarias.

Los SUDS han de aspirar a proteger el medio ambiente y, al mismo tiempo, minimizar el uso de energía y recursos naturales en su diseño, construcción y operatividad.

El diseño de un sistema de drenaje sostenible trata de replicar, de manera general, las mismas características del proceso precipitación-escorrentía en condiciones naturales o de pre-urbanización caracterizadas por que, durante las lluvias de baja intensidad y duración, prácticamente no se produce una escorrentía superficial y cuando lo hace es más lenta y está menos contaminada. Esto se puede lograr mediante la infiltración en el terreno que se produce en muchas de las técnicas de drenaje sostenible.

Para potenciar la sostenibilidad en la construcción de las SUDS se recomienda:

- La reutilización y reciclaje de los materiales derivados de los movimientos de tierras y demoliciones, siempre y cuando cumplan con unos requisitos mínimos

Principios básicos de diseño

- La reducción del volumen de residuos mediante el seguimiento del volumen de los materiales utilizados
- El uso de materiales agregados o producidos a partir de plásticos reciclados
- Tratamiento in situ y compostaje de los sedimentos y otros residuos procedente de la construcción de las SUDS con objeto de reducir los volúmenes de material extraído
- Búsqueda de la eficiencia en los procesos constructivos.

d. Puntos en la sostenibilidad de la cadena de gestión

La gestión del drenaje de una zona mediante un tren o cadena de gestión busca la sostenibilidad mediante la imitación de la naturaleza, pero para que ello sea posible hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- Las aguas pluviales deben ser tratadas en su origen siempre que sea posible y solamente los caudales más altos se deben pasar hacia las aguas abajo.
- La mayor proporción de los contaminantes debe retenerse en los componentes de la serie localizados aguas arriba, lo que minimiza los riesgos a los componentes de aguas abajo, y ayuda a asegurar que las altas concentraciones de contaminantes no se transmitirán a las aguas receptoras.
- El tratamiento de la escorrentía proveniente de una zona pequeña requerirá menos etapas de tratamiento que la escorrentía de la cuenca urbana de gran tamaño.
- Cuanto mayor sea el número de las técnicas utilizadas en la cadena de gestión, mejor será el rendimiento, y menor será el riesgo de fallo del sistema en general.
- La conducción de agua entre las distintas partes en la cadena de gestión debe ser considerada a través del uso de sistemas de conducción natural, como por ejemplo, zanjas o cunetas verdes, siempre que sea posible.
- Los colectores tipo tuberías entre los diferentes eslabones de la cadena deben evitarse, aunque en algunos casos serán necesarios, sobre todo cuando el espacio es limitado.
- Una cadena de tratamiento multi-componente utiliza una amplia gama de procesos de tratamiento que maximicen la eficiencia del tratamiento de una amplia gama de contaminantes.
- El tratamiento se puede combinar tanto con los componentes de conducción, como los de almacenamiento.
- Cuando los riesgos ambientales tienden a ser altos, deben incluirse un mayor número de componentes dentro de la cadena de la gestión. Si los riesgos son bajos, siempre que los criterios hidráulicos que se cumplan, es suficiente con unas pocas técnicas.

Principios básicos de diseño

- Es recomendable que, para las áreas con un tamaño mayor de 2 hectáreas, se creen varias subcuencas y la esorrentía de cada una se dirija a varios componentes en cadena.

Hoja dejada intencionadamente en blanco

BIBLIOGRAFÍA MÓDULO 2

- Poletto, C., & Tassi, R. (2012). Sustainable Urban Drainage Systems. InTech. Recuperado el 20/02/2018 de: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/30388.pdf>
- Pedraza, R. A. (2007). Efectos de Escala sobre la Simulación del Flujo de Agua Superficial en Áreas Urbanas Usando Modelos Basados en la Onda Cinemática. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba
- Burian, S.J., Nix, S.J., Durrans, S.R., Pitt, R.E., C.-Y. Fan, and R. Field. (1999). Historical development of wet-weather flow management.. Journal of Water Resources Planning and Management, 125(1): 3-11.
- Woods, B. B.; Kellagher, R.; Martin, P.; Jefferies, C.; Bray R. & Shaffer, P. 2007. The SUDS manual (C697). Construction Industry Research and Information Association, London. 697p
- Bertule, U. P. M., Lloyd, G. J., Korsgaard, L., & Opperman, T. N. C. J. (n.d.). (2012) Guide for water management. Recuperado el 20/02/2018 de <http://siteresources.worldbank.org/INTLAC/Resources/257803-1351801841279/1PrincipalGestionIntegralAguasUrbanasESP.pdf>
- Miralles-Wilhelm, F. R. (2014). Recursos hídricos y adaptación al cambio climático en Latinoamérica y el Caribe. Directrices estratégicas y líneas de acción propuestas. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota técnica IDB-TN-478. Recuperado el 23/02/2015 de: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6754/Recursos-h%C3%ADdricos-y-adaptaci%C3%B3n-al-cambio-clim%C3%A1tico-en-Latinoam%C3%A9rica-y-el-Caribe.pdf?sequence=1>
- Web oficial de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2018). Recuperado el 15/02/2018 de <http://www.fao.org/energy/water-food-energy-nexus/es/>
- Bertoni C., C. Gastón Carlos (2005) Dispositivos de Regulación y Control del Drenaje Pluvial Urbano. Informe Final Correspondiente al Contrato de Servicios No. FORGAES-054-2005-SER. Denominación de la consultoría:

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

“Diseño de cinco prototipos de sistemas de infiltración de aguas lluvias para el manejo de la escorrentía superficial en el AMSS”

- Fernández-Lavado, C. (2010). Caracterización de la Inundabilidad en el Área Metropolitana de San Salvador. Recuperado el 20/06/07 de: <http://www.xeologosdelmundu.org/wp-content/uploads/2015/01/Caracterizacion-inundaciones-San-Salvador.pdf>
- Mercadé, L. (2008). Evaluación de las inestabilidades de terreno por asentamientos con urbanización deficitaria en el Área Metropolitana de San Salvador (El Salvador). Tesina UPC. Recuperado el 20/06/07 de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/5911>
- Erazo, A. (2010). Impactos de cambios de uso de suelo en la escorrentía superficial en la cuenca del Arenal Montserrat en la ciudad de San Salvador en el periodo 1992-2009. Recuperado el 10/05/2019 de <http://www.snet.gob.sv/estudios/uploads/impactosCambioUsoSuelo.pdf>
- SNET (2003). Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del Arenal de Montserrat. Recuperado el 20/06/07 de: <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/en/contents-%20of-%20this-cd/2-analisis-de-riesgo-arenal-el-salvador.PDF>
- Ministerio De Agricultura Y Ganadería. Dirección General de Ordenamiento Forestal, Cuencas y Riego. (2002). Especies para ornamentación urbana.
- COAMSS (2018). Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños con sus anexos.
- COAMSS-OPAMSS. (2018) Guía HAUS. Hábitats Urbanos Sostenibles del AMSS.
- MARN (2019). Guía Técnica para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos. Dirección General de Evaluación y Cumplimiento.
- Cuestas I., Mejía C. (2019). Análisis de la infiltración, escorrentía sub superficial y tendencia direccional del movimiento del agua entre estratos de suelos del AMSS. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil por la Universidad de El Salvador.

Bibliografía Módulo 2

- Norma Técnica Guatemalteca. NTG 41017 h34 (2013). Método de ensayo. Determinación de la tasa de infiltración del concreto permeable colocado. Comisión Guatemalteca de Normas. Ministerio de Economía,
- Alvarado Batres, César, & Barahona-Palomo, Marco. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. Cuadernos de Investigación UNED, 9(1), 23-33. Recuperado en 20 de julio de 2019, de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662017000100023&lng=pt&tlng=es.
- ISCYC (2015). Diseño, Construcción y Control de Calidad de Pavimentos de Concreto Permeable. Curso.
- Barrera M. (2010). Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de áreas de recarga en el acuífero de San Salvador. Tesis para optar al título de Maestra en Gestión de Recursos Hidrogeológicos por la Universidad de El Salvador.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (1996). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño. Publicado en el "Diario Oficial" N°35.713, de 11 de Marzo de 1997. Santiago. Recuperado el 19/02/2018 de: http://www.minvu.cl/opensite_det_20070317115825.aspx
- Department of Water & Swan River Trust. (2007). Structural Controls. Stormwater Management Manual for Western Australia. Perth. 755p. Recuperado el 21/02/2018 de http://www.water.wa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0020/4772/44217.pdf
- [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=About the Minnesota Stormwater Manual](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=About_the_Minnesota_Stormwater_Manual)
- University of Arkansas Community Design Center (2010). Low Impact Development: a design manual for urban áreas. UACDC. Fayetteville, Arkansas. 177p. Recuperado el 19/02/2018 de: www.bwdh2o.org/wp-content/uploads/2012/03/Low_Impact_Development_Manual-2010.pdf
- Woods Ballard, B, Wilson, Udale-Clarke, H, Illman, S, Scott, T, Ashley, R, Kellagher, R (2015): "The SDSU manual" (CIRIA C753). Construction Industry Research and Information Association, London. 937p.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

- Revitt D.M., Ellis J.B., Scholes L. (Middlesex University) (2003). "Criteria Relevant to the Assessment of BMP Performance". DayWater. WP 5 / Task 5.2 / Deliverable N° 5.2. Dissemination Level: PU.
- AECOM, Atlanta Regional Commission Center for Watershed Protection, Center Forward Georgia Environmental Protection, Division Mandel Design (2016). Georgia Stormwater Management Manual. Recuperado el 19/04/2019 de: <https://atlantaregional.org/natural-resources/water/georgia-stormwater-management-manual/>
- Charlotte-Mecklenburg Storm Water Services (2010) BMP Design Standards Manual. Recuperado el 30/04/2019 de: <https://charlottenc.gov/StormWater/Regulations/Pages/BMPDesignStandardsManual.aspx>
- AQUA España (2016). Guía Técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios. Recuperado el 20/04/2019 de: https://www.aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/2016.Guia_tecnica.pluviales.pdf
- Bárcena A. (2017). Propuesta de diseño de un paquete de tejado verde para un edificio de Barcelona. Trabajo Fin de Máster UPC.
- Ayuntamiento de Madrid (2018). Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos. Recuperado el 15/06/2019 de: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Medio-ambiente/Aqua/SUDS-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/?vgnextfmt=default&vgnextoid=05ae02fc13557610VgnVCM200001f4a900aRCRD&vgnextchannel=63d0e0f6fdc4f510VgnVCM200001f4a900aRCRD>
-
-
-