

CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD, VIABILIDAD Y DE ENFOQUE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LAS INVERSIONES LOCALES 2021-2024

SECTOR AMBIENTE - GESTIÓN DEL RIESGO Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

CONCEPTO DE GASTO MITIGACIÓN DEL RIESGO

ANEXO 11. LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS: SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de reducir las condiciones de riesgo y propiciar la adecuada adaptación al cambio climático en la ciudad, se contemplan medidas de reducción del riesgo de desastres a través de la intervención prospectiva, correctiva y de protección financiera, tales como la incorporación del tema en los diversos instrumentos de planificación territorial, ambiental y sectorial y el desarrollo y/o promoción de medidas regulatorias, el reasentamiento de familias, la construcción de obras de mitigación, adecuación y recuperación de suelos degradados, el fortalecimiento de las capacidades sociales, locales, sectoriales y comunitarias mediante la creación de herramientas técnicas que sean guía para la construcción de proyectos que permitan la adaptación al cambio climático, la mitigación y reducción de los riesgos asociados a condiciones propias de cada localidad. Para este caso la propuesta de implementación de sistemas urbanos de drenaje se dirige a dar manejo a una de las *problemáticas más importantes que tiene la ciudad de Bogotá, la amortiguación de aguas lluvias en el espacio público, sobre todo en los periodos de precipitación, debido a que el rápido desarrollo urbano ha generado la impermeabilización de la ciudad teniéndose pocas coberturas vegetales que ayuden a interceptar el agua lluvia.*¹

El Sistema de Drenaje Pluvial Sostenible contribuyen de manera directa a la conservación, regulación y/o recuperación del ciclo hidrológico y demás servicios ambientales, su aprovechamiento y a la minimización de impactos del desarrollo urbanístico, maximizando la integración paisajística y los valores sociales y ambientales de la ciudad.

El Sistema Urbano de Drenaje Sostenible - SUDS: permiten a través de soluciones que se adoptan con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen, sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del sistema urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía.

Este documento que se presenta como anexo técnico es una guía que compila los principales aspectos a tener en cuenta de la normatividad distrital dispuesta para la implementación de los sistemas urbanos de drenaje en Bogotá, así como las guías técnicas establecidas, las cuales deberán ser consultadas para el desarrollo del proceso las localidades.

¹ Documento técnico SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE. Secretaría distrital de Ambiente de Bogotá. 2011. Página. 6

Para el diseño y aprobación de cualquier SUDS, en Bogotá, es necesario remitirse a:

- a) Norma técnica NS 166 CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS).
- b) “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)”, del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental. CIIA.
- c) Documento técnico de soporte SUDS – SDA

2. OBJETIVO

Dar elementos técnicos para la construcción de sistemas urbanos de drenaje como herramienta de adaptación al cambio climático, la mitigación y reducción de los riesgos asociados a condiciones propias de cada localidad relacionados con eventos tales como inundaciones, avenidas torrenciales, fallos en los drenajes pluviales, entre otros.

3. ANTECEDENTES

En los últimos 30 años, Bogotá ha sufrido grandes inundaciones producidas por el desborde de ríos que afectaron la normalidad cotidiana de los habitantes y que produjeron grandes pérdidas económicas.

A continuación, se incluyen algunos de los eventos más destacados de las inundaciones ocurridas en la ciudad.

- Noviembre de 1979, el río Bogotá se desborda cerca de la desembocadura del río Fucha, afectando principalmente el barrio Patio Bonito de la localidad de Kennedy. La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) realizó obras de mitigación que correspondían al mejoramiento de los jarillones en ambas márgenes del río Bogotá y la ampliación de su cauce. Es de anotar que la CAR adoptó los diseños de protección contra eventos hidrológicos que tenía período de retorno apenas de 25 años acogiendo al Acuerdo No. 33 de 1979 sobre uso del suelo, donde se establece que las márgenes del río en la zona de la ciudad deberán tener solamente uso agropecuario. Las obras hechas por la CAR no se ajustaron exactamente a los diseños, y como consecuencia, los niveles de protección conseguidos después de la ejecución de las obras fueron menores a los que se tenían proyectados y que corresponde a crecientes con periodos de retorno menores de 1 en 10 años (Estudio del Plan Maestro de Alcantarillado realizado para la EAAB en 1985).
- En mayo 14 de 1996, el barrio San Benito de la localidad de Tunjuelito a orillas del río del mismo nombre sufrió inundaciones inicialmente por reflujos de los sistemas de alcantarillado del barrio, y luego por el desborde del río Tunjuelo debido a la rotura del jarillón cerca de la desembocadura de la quebrada La Chiguaza.
- En Marzo 10 de 2008, la Avenida Caracas con Calle 26 se inunda. Este sector aparece identificada como una zona crítica por la Unidad de Emergencias, por ser un lugar con un alto porcentaje de basuras en su alcantarillado, lo que no permite que las aguas se evacúen rápido.
- En 2009 se realiza un primer estudio llamado “Factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad”, el cual indica, los conjuntos de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano,

con el objetivo de retener el mayor tiempo posible, las aguas lluvias en su punto de origen, sin generar problemas de inundación.

Se han realizado estudios para la implementación de trenes de SUDS en la ciudad, como lo ha presentado la universidad de los Andes, para la parte sur y sur-occidental de la ciudad, en los barrios San Cristóbal sur, Tunal y Av. Boyacá.

- En diciembre de 2011, por desbordamiento del Río Fucha en el sector de la estación elevadora de Fontibón se alcanzó la máxima capacidad del canal-pondaje Cundinamarca, generando reflujos de agua en el sistema de drenaje de la zona, inundando las partes más bajas de Bosa.
- La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, EAB y la Secretaría Distrital de Ambiente, SDA, mediante convenio interadministrativo No. SDA 01269 de 2013 – No.EAB 9-07-26200-0912-20 13, como resultado de un proceso de gestión establecieron la necesidad de mejorar el sistema de drenaje en la ciudad, buscando no sólo manejar el volumen de escorrentía para prevenir y/o mitigar inundaciones, sino que a su vez sea posible mejorar la calidad del agua que llega a los cuerpos de agua receptores de la ciudad (p. ej. ríos, quebradas y humedales) y se promueva el aprovechamiento del agua lluvia para usos no potables y paisajísticos (CIIA, 2015a). De esta manera, bajo el convenio mencionado surge el proyecto “Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D. C.”. Desarrollado por el Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de los Andes.²
- Posteriormente, en 2018 tras establecerse las tipologías para la ciudad, surge la Norma técnica NS 166 CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS), norma que establece los aspectos a considerar para realizar el diseño y construcción de tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el espacio público de la ciudad de Bogotá (alcorques inundables, cuencas secas de drenaje extendido, cunetas verdes, tanques de almacenamiento, pavimentos permeables, zanjas de infiltración y zonas de bio-retención), y que son complementarios al sistema de drenaje urbano convencional. Adicionalmente, se establecen criterios de diseño de estructuras anexas a estas tipologías.
- Resolución Conjunta 01 de 2019, Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y Secretaría Distrital de Planeación (SDP), Por medio de la cual se establecen los lineamientos y procedimientos para la Compensación por endurecimiento de zonas verdes por desarrollo de obras de infraestructura, en cumplimiento del Acuerdo Distrital 327 de 2008.

A partir de este marco normativo y de las investigaciones realizadas, entidades como EAB e IDU (Instituto de desarrollo Urbano), han incorporado entre sus guías técnicas y proyectos los SUDS como medida de compensación por endurecimiento de zonas verdes, proyectos de mitigación y adaptación del cambio climático, rigiéndose por los conceptos establecidos en la NS 166, Guía técnica de diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible, entre otros.

1. SISTEMA DE APLICACIÓN DE LOS SUDS EN BOGOTÁ

² METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN ÁREAS RESIDENCIALES, A PARTIR DE SIG. CASO DE ESTUDIO BOGOTÁ D.C., COLOMBIA. José A Martínez Acosta . Universidad de Los Andes. 2017

Se pueden aplicar varios tipos de SUDS en zonas públicas y privadas, como estanques húmedos, cuencas secas de detención prolongada, humedales construidos, cisnes con hierba, zonas de bioretención, barriles de lluvia, tejados verdes y cuencas de infiltración, entre otras. Los conjuntos conectados de estos sistemas constituyen trenes de tratamiento de aguas pluviales, que maximizan el beneficio relacionado con el control de encharcamientos. El rendimiento de los sistemas y los trenes depende de: a) las características físicas, ambientales y sociales del emplazamiento; b) los procesos de control de encharcamientos, que incluyen infiltración, detención y transporte; y c) en el caso de los trenes, la sinergia entre los tipos de SUDS. Por esta razón, se podrían elaborar estrategias de planificación urbana que incluyan los SUDS para maximizar su rendimiento de acuerdo con las necesidades de la cuenca y las perspectivas de los interesados. Por ello, un enfoque de escala y criterios múltiples es fundamental para determinar las oportunidades de aplicación de los SUDS en una ciudad. (Jiménez Ariza et al., 2019)

De acuerdo a la investigación realizada por el CIIA, 2015 se seleccionaron siete tipologías como las más aptas para su implementación en Bogotá; éstas corresponden a cunetas verdes, cuencas secas de drenaje extendido, zonas de bio-retención, zanjas de infiltración, alcorques inundables, pavimentos permeables y tanques de almacenamiento.

La siguiente tabla describe los SUDS que se han desarrollado para la ciudad de Bogotá, y los que se proyectaron para realizar.

Ubicación	Tipología	Estado
Jardín Botánico de Bogotá	Zonas de Bioretención Zanjas de infiltración Pondajes húmedos	Existente
Parque Ecológico San Rafael (La Calera)	Humedal Artificial	Existente
Parque Centro Comercial La Colina	Tanque de almacenamiento	Existente
Casas Campestres (Conjunto Residencial La Sabana)	Humedales Artificiales	Existente
Sede Banco Sudameris	Tanque de Almacenamiento	Existente
Bosa	Pondaje La Isla	Existente
Fontibón	Pondaje La Alameda Pondaje Rivera	Existente
Suba	Pondaje Cafam	Existente
Cable Aéreo	Pondajes Húmedos Zonas de Bioretención Tanques de Almacenamiento	Proyectado

Fuente: Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Producto 2 - Informe sobre la investigación y desarrollo de las tecnologías y/o tipologías de SUDS que más se adapten a la problemática de la escorrentía urbana en la ciudad de Bogotá D.C. CIIA, 2015

2. TERMINOLOGÍA

La terminología aquí presente puede encontrarse en la norma “NT-003 Terminología de alcantarillado” y “NT-005 Terminología sanitaria y ambiental” y esta compilada en la NS – 166 de EAAB – 2018.

- **ALCORQUES INUNDABLES**
Tipología y/o estructura de SUDS utilizada para el control y tratamiento de escorrentía pluvial, la cual tiene asociados árboles y/o arbustos y se ubica por lo general en andenes y separadores. Además de mejorar aspectos de paisajismo, los alcorques captan agua de escorrentía, la almacenan y/o infiltran, mientras que las raíces de los árboles absorben agua y asimilan nutrientes; mejorando simultáneamente la calidad del agua.
- **ANTECÁMARA**
Estructura de pretratamiento anexa a las tipologías y/o estructuras de SUDS cuyo objetivo es sedimentar y retener las fracciones más gruesas de los sedimentos o sólidos suspendidos del agua de escorrentía. Se ubican a la entrada de los SUDS con el fin de prolongar su tiempo de colmatación por partículas gruesas. Dependiendo del área impermeable aferente a la tipología se puede o no necesitar esta estructura, y su forma puede ser de pared con vertedero rectangular o de berma con tubería.
- **BARRERA DE DETENCIÓN**
Estructura anexa que consiste en barreras construidas a partir de roca, concreto o madera, ubicadas perpendicularmente a los patrones de drenaje. Esta estructura disminuye la velocidad de flujo y previene la erosión. Así mismo, incrementa el tiempo de retención del agua, favoreciendo la evaporación, infiltración y/o filtración de ésta en condiciones de bajo flujo. Esta estructura hace parte de las medidas de pre-tratamiento, por lo cual su mantenimiento debe ser recurrente.
- **BERMA O TERRAPLÉN**
Estructura anexa que permite contener el agua lluvia ya sea mediante la subdivisión de un volumen de almacenamiento mayor o como parte del dique que define todo el perímetro del volumen de detención o retención. Involucrar esta estructura a una tipología de SUDS puede incrementar el tiempo de retención hidráulico de la escorrentía almacenada temporalmente al interior de ésta.
- **BY-PASS**
Estructura de manejo de agua de escorrentía que consiste en el represamiento y desvío del flujo de agua hacia un punto aguas abajo de la red o cualquier otro punto de descarga.
- **CUENCA SECA DE DRENAJE EXTENDIDO (CSDE)**
Tipología y/o estructura de SUDS cuyo objetivo principal es amortiguar los picos de escorrentía y reducir la cantidad de sólidos suspendidos y contaminantes del agua pluvial. La CSDE se compone de una zona permeable que permite el almacenamiento temporal de un volumen de escorrentía. Esta zona se encuentra deprimida con respecto al terreno circundante. Una vez inicia un evento de lluvia, la escorrentía que ingresa a la cuenca se va almacenando y luego drena lentamente al sistema de drenaje convencional o a un cuerpo de agua cercano.
- **CUNETAS VERDES**
Tipología y/o estructura de SUDS que consiste en canales lineales poco profundos cubiertos por césped u otra vegetación. Permite recolectar y/o conducir escorrentía, lo que favorece la remoción de sólidos suspendidos del agua transportada. Así mismo, procesos de bio-filtración e infiltración presentes a lo largo de estos sistemas permiten el tratamiento del agua de escorrentía.

- **CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA (IDF)**
Curvas que sintetizan el régimen de eventos máximos de lluvia en un determinado lugar. Para un período de retorno dado, estas curvas indican la intensidad promedio durante la duración de interés de máxima intensidad del evento de lluvia. La transformación de esta lluvia asociada a una intensidad máxima a escorrentía, mediante un modelo lluvia-escorrentía, es un procedimiento frecuentemente utilizado en hidrología, que permite la estimación de caudales de eventos máximos de escorrentía asociados a un periodo de retorno específico. Este método es requerido para el diseño de algunas tipologías de SUDS y/o para su verificación.
- **DIQUE DE SEGURIDAD**
Dique que se diseña de acuerdo con un evento de precipitación con periodo de retorno de 100 años, asociado a los vertederos de emergencia y excesos.
- **DISTRIBUIDOR DE FLUJO**
Estructura anexa que permite reducir la velocidad y distribuir el flujo concentrado sobre una superficie horizontal y de manera uniforme. Se disponen usualmente como parte de un sistema que incluye una estructura de entrada, una de pretratamiento y un área vegetada aguas abajo del distribuidor.
- **ENROCADO DE SUDS**
Estructura anexa a las tipologías de SUDS compuesta por una capa de piedra triturada, ubicada al interior de una estructura de entrada, conducción y/o salida, la cual permite reducir la velocidad del flujo de escorrentía al proveer un mayor coeficiente de rugosidad, reduciendo de este modo el riesgo de erosión del suelo intervenido.
- **ESTRUCTURA DE REBOSE**
Estructura anexa que permite evacuar los excesos de volúmenes de agua que ingresan a las tipologías de SUDS en eventos extremos, con el fin de garantizar la adecuada operación de éstas.
- **ESTRUCTURAS ANEXAS**
Estructuras complementarias a las tipologías de SUDS que permiten mejorar o mantener el correcto desempeño de estos sistemas de drenaje. Éstas incluyen estructuras de pretratamiento, entrada, conducción, salida y rebose, entre otras.
- **ESTRUCTURAS DE CONTROL DE FLUJO**
Estructuras de control que se establecen en una tipología de SUDS para detener parte del volumen de escorrentía y disminuir así la descarga aguas abajo de ésta.
- **ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA**
Estructuras anexas a las tipologías de SUDS que reducen la velocidad de flujo y, a su vez, protegen de la erosión las entradas y salidas de algunas de las tipologías. Las estructuras más usuales en relación con los SUDS son los enrocados y las barreras de detención.
- **GEOCELDA**
Estructura plástica modular que presenta gran porosidad, normalmente del 95%, utilizada para la formación de estructuras subterráneas, que retiene y almacena escorrentía antes de que ésta se infiltre en el suelo, se descargue al sistema de alcantarillado o se reutilice.
- **GEOMEMBRANA**
Material sintético impermeable en forma de lámina, generalmente flexible.
- **GEOTEXTIL**
Geosintético, textil permeable utilizado en aplicaciones de ingeniería.
- **FRANJA FILTRANTE**
Tipología complementaria de SUDS que sirve como estructura de pretratamiento. Ésta consiste en césped con una alta densidad vegetal, diseñada para promover la infiltración,

reducir la carga de sedimentos, y a su vez, recibir y dirigir el flujo de escorrentía de zonas impermeables hacia tipologías de SUDS.

- **MICROPISCINA**
Estructura anexa a las tipologías de SUDS, semejante a una pequeña piscina permanente, construida con el fin de reducir la re-suspensión de partículas e incrementar la eficiencia del sistema respecto a la remoción de contaminantes.
- **ORIFICIO**
Abertura rectangular o circular en la que el caudal depende de la altura sobre la salida, así como del tamaño y los bordes del orificio. Éste se puede definir como horizontal cuando se encuentre a nivel del suelo o en la parte superior de una tubería vertical. La función del orificio varía cuando éste está o no sumergido.
- **PAVIMENTO PERMEABLE**
Tipología y/o estructura de SUDS que consiste en una superficie que permite el paso del agua al subsuelo evitando la generación de escorrentía. La configuración general de esta tipología incluye cuatro capas principales: (1) capa superficial, (2) capa de nivelación, (3) sub-base o reservorio y (4) capa filtrante. Estos sistemas admiten la filtración del agua y pueden promover o no la infiltración hacia el subsuelo. No se deben implementar en avenidas de alto tráfico vehicular, zonas de tráfico pesado o en áreas con una alta cantidad de contaminantes o sedimentos finos.
- **PROFUNDIDAD DE LÁMINA DE ESCORRENTÍA (hWQCV)**
Hace referencia a la profundidad de la lámina de agua para el cálculo del volumen de tratamiento de calidad de agua en la tipología de SUDS.
- **REJILLAS**
Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.
- **SISTEMAS DE DRENAJE CONVENCIONAL**
Medidas o mecanismos que tradicionalmente se han utilizado para evacuar el agua de escorrentía en los centros urbanos. Éstos se componen de sumideros, pozos de inspección y redes de tuberías que transportan el agua lo más rápido posible hacia un canal, un cuerpo receptor o una planta de tratamiento.
- **SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)** Son el conjunto de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía. La filosofía de los SUDS es tratar de reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana.
A nivel internacional los SUDS se pueden encontrar como: Best Management Practices (BMP), Low Impact Development (LID), Stormwater Green Infrastructure (SGI), Stormwater Control Measure (SCM) o Water Sensitive Urban Design (WSUD).
- **TANQUE DE ALMACENAMIENTO** Tipología y/o estructura de SUDS que tiene como objetivo retener agua de escorrentía para ser almacenada. El volumen de agua acumulado puede ser reutilizado en usos no potables o ser dispuesto directamente en cuerpos receptores o en sistemas convencionales de drenaje. La escorrentía que ingresa a esta tipología puede provenir de superficies impermeables como vías techos, cubiertas y canaletas, y su disposición puede ser superficial o subterránea.
- **TIEMPO DE DRENAJE**
Tiempo máximo permitido para que un SUDS evacúe el agua almacenada sin que se ocasione daños en el funcionamiento de éste.
- **TIPOLOGÍAS Y/O ESTRUCTURAS DE DETENCIÓN**

SUDS que desaceleran y almacenan temporalmente la escorrentía antes de ser evacuada al sistema de drenaje o a los cuerpos de agua receptores. Algunas de las tipologías de SUDS de detención son: alcorques inundables, CSDE, cunetas verdes, zonas de bio-retención y tanques de almacenamiento.

- **TIPOLOGÍAS Y/O ESTRUCTURAS DE INFILTRACIÓN**
SUDS cuyo principal medio de evacuación de agua es a través de infiltración. Se destacan tipologías como: cuencas de infiltración, sumideros de infiltración (soakaways) y zanjas de infiltración.
- **TIPOLOGÍAS Y/O ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN**
SUDS que presentan espejos de agua y pueden almacenar volúmenes de agua y sedimentos. Estas estructuras presentan un flujo base constante que permite mantener una lámina de agua permanente, incluso en periodos de tiempo seco. Algunas de las tipologías más usuales dentro de esta clasificación son: humedales artificiales y pondajes húmedos.
- **TRENES DE TRATAMIENTO**
Involucra el acople en serie de dos o más estructuras de SUDS, con el fin de incrementar los beneficios asociados a la implementación de este tipo de sistemas de drenaje. El orden en el cual se estructure el tren repercutirá directamente en el volumen y la calidad de la escorrentía que se infiltre, reúse o descargue a un cuerpo de agua receptor o al sistema de drenaje convencional.
- **TUBERÍA PERFORADA SUBTERRÁNEA**
Estructura anexa a las tipologías de SUDS que consiste en una tubería cilíndrica o semicircular, la cual se ubica en un medio granular. Se emplea para drenar el agua de la tipología en el tiempo requerido. Su implementación se recomienda para evitar problemas de estancamiento no deseado de agua en la estructura y/o cuando la tasa de infiltración en el sitio no es adecuada.
- **TUBO VERTICAL PERFORADO**
Estructura anexa a las tipologías de SUDS que consiste en tubos verticales con perforaciones cuya parte superior puede estar abierta y contar con una rejilla y una placa anti-vórtice. Se implementan en estructuras con tiempos de detención extendidos. Presentan una alta frecuencia de taponamiento, lo cual se puede prevenir con el uso de una capa de grava y malla alrededor de la tubería.
- **UNIDADES DE GESTIÓN DE ALCANTARILLADO (UGA)**
Unidades básicas para el estudio y análisis del drenaje de la ciudad de Bogotá. Corresponden a áreas definidas según las características del drenaje y topología de la red, y a partir de éstas se ha desarrollado la planeación y gestión del sistema de alcantarillado pluvial, sanitario y combinado.
- **VADO**
Estructura anexa a las tipologías de SUDS que permite dirigir y distribuir de manera uniforme la escorrentía que ingresa a éstas, en caso de que la escorrentía no drene directamente. Su diseño debe garantizar que el borde se encuentre al mismo nivel que la superficie impermeable para prevenir encharcamiento y acumulación de sedimentos. Esta estructura hace parte de las medidas de pre-tratamiento, por lo cual su mantenimiento debe ser recurrente.
- **VERTEDERO DE EMERGENCIA**
Estructuras anexas a las tipologías de SUDS de mayor tamaño, empleadas para conducir caudales extremos que superan el evento de diseño bajo el cual se dimensiona el vertedero de excesos. Si se cuenta con la topografía adecuada y es posible, se sugiere realizar una descarga del caudal pico sin causar erosión considerable aguas abajo.
- **VERTEDERO DE EXCESOS**

Estructuras anexas a las tipologías de SUDS de mayor tamaño, empleadas para descargar el agua una vez el volumen de almacenamiento se ha ocupado totalmente. Los vertederos también pueden emplearse como estructuras para el control del flujo.

- **VOLUMEN DE TRATAMIENTO (VC)**

Constituye el volumen de agua de diseño de la tipología de SUDS, obtenido a partir de la profundidad de la lámina de escorrentía (hWQCV), los coeficientes de escorrentía reportados en la norma del Acueducto Bogotá "NS-085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado" y el área de drenaje aferente a cada sistema. Este volumen constituye el balance adecuado entre tormentas a tratar, costos de construcción y operación de la tipología y eficiencias de remoción de sedimentos y contaminantes.

- **ZANJAS DE INFILTRACIÓN**

Tipología y/o estructura de SUDS que tiene como finalidad el transporte, almacenamiento, infiltración y mejora de la calidad del agua de escorrentía. Consiste en una excavación lineal y rectangular rellena con material granular o geoceldas, que sirve de filtro de sedimentos y partículas gruesas.

Esta tipología se diseña para infiltrar la totalidad del volumen almacenado. Usualmente, se cubren con geotextil las paredes laterales de la estructura y se incorporan diferentes estructuras anexas que favorezcan su operación.

- **ZONAS DE BIO-RETENCIÓN**

Tipología y/o estructura de SUDS que detiene, filtra y evacua lentamente la escorrentía almacenada. Esta estructura tiene asociada cobertura vegetal y puede implementarse en una gran variedad de espacios como separadores de zonas viales y andenes. Por lo tanto, su implementación puede generar beneficios a nivel de paisajismo y amenidad. Esta tipología es una de las que mayor contribución puede presentar en la mejora de la calidad del agua de escorrentía, mediante procesos de filtración, adsorción y biodegradación de contaminantes y asimilación de nutrientes. Su estructura general se compone de una depresión del suelo, en la que se incorpora cobertura vegetal, sobre una capa orgánica y un sustrato.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SUDS

Según la Norma técnica NS 166 CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS), de la EABB, los siguientes son los aspectos a tener en cuenta para la implementación de un SUDS. Para mayor información se debe consultar esta norma.³

a. GENERALIDADES

- Las estructuras y/o tipologías de SUDS generalmente se diseñan para satisfacer dos objetivos fundamentales: (1) reducir los volúmenes de escorrentía que son descargados directamente a los cuerpos de agua receptores o al sistema de drenaje convencional luego de un evento de precipitación, minimizando a su vez impactos asociados a eventos de inundación y (2) mejorar la calidad del agua pluvial durante su captación, detención, conducción, infiltración y/o retención. No obstante, con la implementación de estos sistemas se pueden alcanzar de manera simultánea objetivos como: mejorar la amenidad del área

³ NS-166-CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE.

<https://www.cccs.org.co/wp/download/1-ns-166-criterios-para-disen%CC%83o-y-construccion-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-pdf/>

urbana, incrementar el urbanismo y paisajismo de la ciudad, e incentivar el reúso de agua pluvial.

Los SUDS pueden diseñarse para proyectos de diferentes escalas, desde una escala de control en la fuente hasta una de tipo regional. Adicionalmente los SUDS deben garantizar los objetivos vigentes establecidos por la EAB-ESP en cuanto a reducción de volúmenes de escorrentía y mejoramiento de parámetros de calidad del agua. Las tipologías de SUDS que, de acuerdo con las características propias de la ciudad de Bogotá, resultan más apropiadas para la ciudad son: alcorques inundables, tanques de almacenamiento, zonas de bio-retención, cunetas verdes, cuencas secas de drenaje extendido, zanjas de infiltración y pavimentos permeables. Otras tipologías de SUDS tales como techos verdes, tanques de retención, filtros de arena, cuencas de infiltración, soakaways, pondajes húmedos, humedales artificiales, embalses de amortiguación, y presas secas también pueden ser usadas en la ciudad de Bogotá, siempre y cuando se justifique técnicamente el uso de dichas tecnologías y sean autorizadas por la EAB-ESP mediante la entrega de un estudio de ingeniería.

b. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA.

La documentación requerida por la EAB-ESP para la aprobación de la construcción de las tipologías de SUDS es la siguiente:

- Estudio topográfico y geotécnico de la zona a intervenir. Este estudio debe seguir lo establecido en las normas de la EAB-ESP “NS-030 Notes Link Lineamiento para trabajos topográficos” y “NS-010 Notes Link Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos”, salvo el número de sondeos o exploraciones geotécnicas a realizar, puesto que para tipologías de SUDS se debe seguir la siguiente regla: El número mínimo de sondeos o exploraciones de campo a realizar se debe escoger de acuerdo con el valor máximo obtenido entre las siguientes condiciones:
 - Un (1) sondeo o exploración por cada tipología de SUDS que conforme el tren de tratamiento (*). Si se construye una sola tipología, el número de tipologías del tren es igual a 1.
 - El número de sondeos que resulte de aproximar al entero superior la división entre la dimensión más larga del tren de SUDS a implementar (en metros) y 50 m (**). (*) Por ejemplo, para un tren de SUDS compuesto por cinco alcorques en serie, el número de tipologías empleadas es 1 (alcorque), y por lo tanto el número mínimo de sondeos o exploraciones sería 1. En otro caso, para un tren de SUDS compuesto por una zanja de infiltración seguida de una zona de bio-retención y un tanque de almacenamiento, el número mínimo de sondeos es 3, puesto que son 3 tipologías distintas por implementar.
 - (**) Por ejemplo, para un tren de SUDS compuesto por tres alcorques en serie y un tanque de almacenamiento, cuya dimensión más larga del tren es 170 m, la división sobre 50 m es equivalente a 3.4. Este valor se aproxima al número entero superior, equivalente a 4 sondeos a realizar. En otro caso, para una cuenca seca de drenaje extendido, cuya dimensión más larga es 90 m, la división sobre 50 m es equivalente a 1.8. Este valor se aproxima al número entero superior, equivalente a 2 sondeos a realizar en esta tipología.
- Informe de impacto ambiental de acuerdo con lo establecido en la “NS-038 Notes Link Manual de manejo de impacto ambiental y urbano”.

- Informe hidrológico que incluya el valor de profundidad de lluvia (hp) y profundidad de lámina de agua para el volumen de tratamiento (hWQCV) del área de drenaje analizada, caudal de diseño y caudal pico para un periodo de retorno de 10 años. Así mismo, se deben incluir, las áreas de drenaje, coeficientes de escorrentía y tipos de usos del suelo siguiendo los lineamientos de la “NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado”.
 - Plano del área a intervenir en donde se identifiquen tuberías de alcantarillado pluvial y sanitario, sumideros, hidrantes, conexiones erradas (si aplica). Se debe evaluar la capacidad remanente del sistema de alcantarillado existente, de tal forma que la conexión de la tipología de SUDS al dicho sistema cumpla con los requerimientos mencionados en el capítulo 4.7 de la norma técnica.
 - Planos estructurales e hidráulicos detallados de cada componente de la obra (tipologías y estructuras anexas), incluyendo detalles del tipo de conexión al sistema de alcantarillado convencional (si aplica). El diseño estructural debe seguir lo establecido en la norma de la EABESP “NS-002 Notes Link Criterios de diseño estructural”. La entrega de planos a la EAB-ESP debe estar en concordancia con lo estipulado en la norma “NS-054 Notes Link Presentación de diseños de sistemas de alcantarillado”.
 - Se debe entregar un esquema y/o manual de operación y mantenimiento para la tipología o tren de SUDS y estructuras anexas diseñadas. Es importante aclarar que EAB-ESP indicará que proyecto de implementación de SUDS debe realizar un esquema y/o un manual de operación y mantenimiento, y el alcance de los mismos. Lo anterior se definirá en función de la escala del proyecto, y de los procesos y componentes involucrados en el mismo.
 - Se debe realizar una estimación de costos de construcción con base en los lineamientos de la EAB-ESP o la metodología definida por el consultor.
 - Si la tipología o tren de SUDS a construir permite realizar prácticas de infiltración se debe entregar un informe que presente los resultados de los ensayos de infiltración sobre el área superficial de las tipologías a construir. Se deben realizar como mínimo 3 ensayos de infiltración distribuidos en el trazado del diseño de las diferentes estructuras. No obstante, si el proyecto tiene un área mayor a 1000 m², se debe realizar un ensayo por cada 250 m² del área superficial a intervenir. Se debe incluir un plano georreferenciado en donde se especifique la ubicación y tipo de ensayo realizado en el área a intervenir.
 - Si la tipología requiere cobertura vegetal, se debe presentar un informe en donde se justifique la selección del tipo de vegetación a emplear.
- 4.1.2. Aspectos de construcción** Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) requieren de un alto grado de precisión en cuanto a los aspectos constructivos, tanto de las tipologías principales, como de las estructuras anexas asociadas a éstas. Una construcción adecuada con materiales apropiados afectará de manera positiva el desempeño de las estructuras en cuanto al control de volúmenes de escorrentía, mejoramiento de la calidad del agua, creación de paisaje y percepción de amenidad, entre otros. Este tipo de sistemas de drenaje pueden ser implementados en áreas desarrolladas o en áreas de nuevos desarrollos. La construcción de SUDS en áreas desarrolladas exige que el constructor identifique claramente en qué condiciones se encuentra el sistema de drenaje preexistente y cómo es la dinámica del entorno con este sistema. De este modo, es posible identificar de qué forma la integración con tipologías de SUDS puede representar una mejora en cuanto al manejo de escorrentía en el área de interés. Por otro lado, para área de nuevos desarrollos, la integración de SUDS se debe contemplar desde la planeación misma del proyecto, de modo que estas estructuras se acoplen al funcionamiento de todo el proyecto y no queden aisladas como estructuras independientes.

4. ASPECTOS DE CONSTRUCCIÓN

A continuación, se presentan los aspectos más relevantes asociado a la construcción de siete tipologías de SUDS .

▪ **Antes de la construcción**

- Si la construcción de tipologías de SUDS se hace en un área desarrollada, se debe identificar claramente cuál es la red de drenaje preexistente. Conocer de manera detallada cómo se encuentra el sistema convencional de drenaje y cómo éste está dispuesto en el área a intervenir, puede disminuir los costos imprevistos por daño a tuberías preexistentes, no contemplados en el diseño detallado. Así mismo, identificar las redes pluviales ya construidas puede mejorar el diseño de las diferentes tipologías de SUDS y facilitar su conexión al sistema convencional.
- Durante las etapas de diseño de las tipologías de SUDS, resulta valioso identificar en el mercado local si la maquinaria, elementos y materiales constructivos establecidos en el diseño, verdaderamente se encuentran disponibles, y hay suficientes proveedores de éstos para la obra. Diseñar y sugerir elementos que sean producidos en otros países puede resultar costoso debido a los gastos de importación; construirlos localmente tampoco es una opción económica.
- Antes de empezar las labores constructivas, se debe tomar en consideración el contexto del sitio a intervenir, para que las tipologías cuenten con todas las previsiones posibles para evitar cualquier riesgo para los usuarios del área, una vez ésta haya sido intervenida. Esta recomendación se sugiere para aquellas zonas de uso frecuente, en las cuales se desarrollan actividades recreativas, y, por lo tanto, elementos como canales, taludes y reservorios puedan representar algún tipo de riesgo para estos usuarios.
- En la etapa de diseño, se debe considerar un plan de rebose o descarga en el cual se incluya, para cada tipología construida, una estructura de alivio que permita evacuar la escorrentía de eventos extremos de precipitación que puedan afectar la estabilidad de la tipología.
- Realizar estudios geotécnicos resulta fundamental en proyectos donde se requiere remoción de tierra, excavaciones profundas y adecuación de taludes. En tanto sea posible se deben realizar el mayor número de sondeos o exploraciones de suelo de acuerdo con el trazado planteado para las diferentes tipologías de SUDS. De modo que sea posible verificar en el sitio la factibilidad de remover y adecuar el terreno, así como identificar el posible plan de manejo del material extraído.
- Para tipologías que incluyan capa de drenaje, es necesario verificar previamente en laboratorio que la porosidad y la tasa de infiltración del medio granular empleado sean adecuadas. La roca de relleno debe ser lavada antes de la construcción, para de esta manera evitar la colmatación prematura de las estructuras.

▪ **Durante la construcción**

- Si la construcción de la tipología incluye la adecuación de geotextiles o geomembranas, se debe verificar éstas hayan sido correctamente instaladas y que su desempeño sea el adecuado. Ya que los desgarros pueden ser recurrentes en actividades de construcción,

debido a enganches inadecuados a maquinaria y equipos, o debido a asperezas en el terreno intervenido.

- Para las tipologías de SUDS que incluyan el uso y adecuación de cespcedon, se debe tomar en consideración el grosor de este tipo de cobertura vegetal, para así asegurar que las cotas de diseño sean concordantes con las establecidas en el diseño de detalle, una vez la vegetación ya esté adecuada en el terreno intervenido. Este aspecto es más importante para tipologías como cuenca seca de drenaje extendido, cuneta verde y zona de bio-retención. • Se debe disminuir al máximo el uso de maquinaria pesada, puesto que su tránsito puede afectar de manera importante la vegetación de la zona y la capacidad de infiltración del área intervenida. En caso de que el uso de este tipo de maquinaria sea necesario, se debe contar con un plan adecuado de movilización de maquinaria pesada, el cual minimice al máximo los impactos negativos sobre el terreno intervenido.
- Para tipologías que requieran la empradización con cespcedon de grandes extensiones de tierra. Se debe garantizar un sistema de riego frecuente, para este tipo de cobertura vegetal. En este sentido, es necesario considerar que durante la construcción puede que no se presente precipitación en la zona, y, por lo tanto, se requiera de riego artificial.

▪ **Después de la construcción**

Una vez finalizada la obra, es necesario realizar un replanteo final de las cotas de diseño, así como algunos ensayos de infiltración en el área intervenida, para de esta forma verificar que los parámetros de diseño no cambiaron durante el proceso constructivo, y, por lo tanto, no se verá afectada la hidráulica del flujo de escorrentía. Si hay alguna inconsistencia, se debe evaluar y corregir el imprevisto antes de iniciar la operación de la tipología.

Es necesario comprobar, mediante observaciones visuales y mediciones en campo, que las tipologías estén funcionando como fueron diseñadas. En este sentido, se debe confirmar que los caudales de entrada y salida de cada tipología se encuentran dentro de los parámetros de diseño. Así mismo, que la cantidad de sedimento y calidad del agua sean típicas de un flujo de escorrentía, con el fin de evitar desconocimiento de conexiones erradas de aguas residuales. Adicionalmente, se debe revisar que las tasas de almacenamiento de sedimento o reducción de tasas de infiltración en las tipologías corresponden a lo esperado. Finalmente, es necesario verificar que la vegetación existente en las tipologías se encuentre en buen estado y cumpliendo con funciones de limpieza y mejora de la calidad del agua. Este aspecto es relevante para todas las tipologías.

Luego de la construcción se debe revisar en detalle el desempeño de las tipologías construidas durante los primeros eventos de lluvia capturados. Por lo tanto, es necesario presenciar la primera operación de la tipología de SUDS, de modo que se identifiquen posibles fallas o ajustes a la construcción realizada. Después de identificar estos ajustes, se debe suspender la operación y realizar las correcciones constructivas correspondientes, para de este modo garantizar el adecuado desempeño de las tipologías de SUDS. Este aspecto es relevante para todas las tipologías.

En áreas abiertas con gran circulación peatonal se debe instalar una valla informativa en el sitio intervenido, que permita a los usuarios recurrentes de la zona conocer y entender el funcionamiento de estos nuevos sistemas de drenaje. La apropiación de la comunidad frente a estas estructuras es crucial para el adecuado desempeño de las mismas. Este aspecto es relevante para todas las tipologías, principalmente para cuenca seca de drenaje extendido.

Si la construcción de tipologías de SUDS incluye una etapa posterior de monitoreo, se debe considerar la seguridad e integridad de los equipos a instalarse en las cámaras de monitoreo. Adicionalmente, se debe corroborar la limpieza de estas estructuras antes de iniciar esta etapa, de modo que los datos obtenidos no se vean afectados por sedimentos o escombros generados durante la etapa constructiva. Es importante aclarar que la EAB-ESP tiene potestad de declarar que proyecto de implementación de SUDS requiere realizar actividades de monitoreo, el alcance de las mismas y el periodo de tiempo en el cual se deben llevar a cabo. Lo anterior se definirá en función de la escala del proyecto, y de los procesos y componentes involucrados en el mismo.

5. IMPLEMENTACIÓN DE SUDS

La norma NS 166 DE EAB y el documento técnico de soporte de la SDA establece los principales parámetros de diseño y las restricciones generales de localización de 7 tipologías de SUDS recomendadas para su implementación en la ciudad de Bogotá.

Para el diseño de las tipologías se deben seguir los lineamientos definidos en esta norma técnica.

No obstante, el diseñador deberá verificar el funcionamiento hidráulico de cada estructura, justificando de manera clara cualquier modificación o variación de los lineamientos de diseño propuestos. Para los diseños se debe utilizar el sistema Internacional de Medidas (SI), el cual es de obligatorio cumplimiento en el Territorio Nacional, según el “Decreto 2269 de 1993”.

5.1 PROCESO DE SELECCIÓN⁴

A la hora de seleccionar unas técnicas de drenaje urbano sostenible para ser implantadas en un entorno urbano, hay que tener en cuenta que han de estar englobadas dentro de un sistema, por lo que, en muchos casos, no es recomendable hacerlo de forma individualizada.

Ha de concebirse como un tren o una cadena, que ha de cumplir con unos objetivos globales a partir de los resultados parciales obtenidos de cada eslabón o sistema de drenaje individual que componen dicha cadena. Esta cadena o tren ha de ser completa en el tratamiento y gestión de aguas pluviales, ya esté compuesta sólo por técnicas de drenaje sostenible o bien complementando éstas con las infraestructuras de drenaje convencional existentes.

Fases en el proceso de selección

Para conseguir una solución final positiva, el proceso ha de ser cíclico de prueba error, encadenando distintos SUDS hasta ajustarse a los todos y cada uno de los condicionantes impuestos. Existe una jerarquía de las técnicas en el establecimiento de la cadena:

- a) Prevención: Aplicación de medidas no estructurales
- b) Control en origen: control de la escorrentía en la fuente o sus inmediaciones.
- c) Gestión en entorno urbano: gestión del agua a escala local.

⁴ Para proponer el proceso de selección se tomó lo planteado por la página: **SuD Sostenible**, la cual según su propia definición, “se dedica a la Gestión sostenible del agua pluvial urbana, con especial énfasis en el proceso de selección e implantación de las llamadas infraestructuras verdes, incluyendo los cálculos hidrológicos e hidráulicos propios del diseño de una red de drenaje: el análisis pluviométrico, el estudio de las cuencas urbanas y la determinación de caudales”. Fuente: <http://sudsostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/criterios-de-diseno/>. Esta es una de las recomendaciones de consulta para iniciar el proceso de conocimiento de SUDS, ya que explica de manera práctica todo lo relacionado con el tema.

d) Gestión en cuencas: gestión de la escorrentía a escala regional.

Lo primero que ha de considerarse en el proceso de selección es la adopción de medidas de prevención, comprobando si son suficientes para cumplir con los criterios de diseño. En el caso de que sólo con las medidas preventivas no pudieran alcanzarse los requerimientos establecidos, han de implementarse sistemas de control en origen, como serían las superficies permeables o los pozos de infiltración. Se ha de dividir el área de estudio en diferentes subcuencas para facilitar la correcta salida del agua. Si después de esto, siguieran sin lograrse las condiciones exigidas, hay que usar otro tipo de sistemas sostenibles, como aquellos que transporte el agua a otro punto. Dentro de este grupo se encontrarían las franjas filtrantes o las cunetas verdes. Si con la actuación de estos sistemas de transporte tampoco se cumplen los objetivos de cantidad y calidad del agua, deben utilizarse sistemas de detención o retención como depósitos, estanques o humedales, o bien al final de la cadena o bien intercalados entre los sistemas intermedios.

Una vez hecha la selección de las técnicas que mejor se adaptan a los criterios de diseño, debe ajustarse el proceso, revisando cada uno de los eslabones componentes de la cadena de drenaje, su utilidad dentro de ella, su posibilidad de su agrupación en distintas etapas, y la sustitución o incluso eliminación de alguno de los eslabones manteniendo un nivel de satisfacción óptimo.

Todo este proceso de elección, incluidos la planificación y el diseño de los SUDS, ha de enfocarse como un trabajo multidisciplinar, en el que intervienen múltiples ciencias como son la hidrología, hidráulica, geotecnia, cálculo de estructuras, impacto ambiental, paisajismo, urbanismo,... También debe incluir a todos los agentes sociales implicados en el proceso, desde las etapas previas de planeamiento hasta el uso y explotación de las infraestructuras.

6. TIPOLOGÍAS DE LOS SUDS⁵

Para este ítem del anexo, se incluyen los tipos de sistemas urbanos de drenaje que fueron propuestos por el documento técnico de soporte de la secretaría distrital de ambiente (Paginas 18 a la 28), de acuerdo a lo analizado para una ciudad como Bogotá, con sus características de suelo, periodo de lluvias, tipo de agua residual a manejar, topografía, entre otros.⁶ Sin embargo, no son las únicas opciones dado que la “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)”, del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental. CIIA, propone la metodología técnica para el diseño de estas alternativas y otras. Para la selección de la estructura correcta es obligatoria su consulta y aplicación.

- **Tanques de almacenamiento de aguas lluvias.**

⁵ Para más detalles es necesario consultar:

- “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)”, del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental. CIIA
- Documento técnico de soporte SUDS – SDA
- Norma técnica NS 166 de EAAB 2018.

⁶ Documento técnico de soporte SUDS. [Sistemas urbanos de drenaje sostenible. http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible](http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible)

Este tipo de SUDS es el más sencillo de todos. Consiste simplemente en la construcción de tanques enterrados o no que permitan la captación y almacenamiento de agua lluvia con el fin de utilizarla con fines no potables tales como el suministro de agua a sanitarios y orinales, lavado de vehículos y riego de jardines y zonas verdes.

Su implementación y mantenimiento correrá por parte de quien decida implementar este tipo de medidas. Estos sistemas deberán diseñarse evitando que se conviertan en hábitat propicio para la reproducción de vectores. Estos sistemas pueden captar agua bien sea procedente de cubiertas o de superficies duras de parqueaderos. En este último caso, debe proveerse de un sistema adecuado que permita la remoción de grasas y de un sistema de filtrado adecuado que permita mejorar la calidad de las aguas afluentes para su uso posterior.



Fotografía 1 Ejemplo de SUDS. Tomado de <https://www.grafiberica.com/suds-drenaje-sostenible/bloques-de-drenaje/ecoblock-light.html>

▪ **Sistemas de Techos Verdes o Cubiertas Vegetalizadas.**

“Los techos verdes son uno de los medios para hacer frente a los efectos del cambio climático, aprovechar más los espacios, tener mejores condiciones ambientales en las ciudades e incluso se plantean como una medida para mejorar la habitabilidad y la seguridad alimentaria. Se pueden hacer con botellas recicladas, con cubetas plásticas especiales o con un gran tapete de pasto natural que se extiende en la cubierta de los edificios.”⁷

El objetivo de estas estructuras es el de mitigar el pico de crecientes asociados con eventos de precipitación con periodos de retorno de 2 años. La descripción de las tipologías de techos verdes y las recomendaciones de su implementación se encuentran en detalle en la Cartilla de Techos Verdes de la Secretaría Distrital de Ambiente.⁸ Se debe tener en cuenta que la vegetación a utilizar esté en condiciones de soportar periodos alternados de humedecimiento y secado al igual que con periodos de calor y frío. La vegetación deberá ser perene, resistente a la sequía, con poco requerimiento de agua después de que ya se encuentra establecida, con preferencia por suelos bien drenados, autosustentable (es decir, que no requiera de fertilizantes o herbicidas), capaces de resistir calor, frío y vientos extremos, con capacidad para sobrevivir

⁷ Diario El Espectador. Sección Medio Ambiente. Techos verdes para rescatar la ciudad .18 oct. 2014 - 9:00 p. m. Por: Estefanía Avella Bermúdez. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/techos-verdes-para-rescatar-la-ciudad/>

⁸ Guía Técnica de techos verdes. <http://ambientebogota.gov.co/web/una-piel-natural-para-bogota//consulta-la-guia-tecnica-de-techos-verdes-para-bogota>

en suelos pobres con tendencia a la acidez y resistente al fuego. La variedad de plantas a utilizar deberá ser lo más amplia posible para favorecer la biodiversidad y la estética del techo terminado.

Este tipo de SUDS habrá de ser registrado en la página de la secretaria de ambiente <http://ambientebogota.gov.co/web/una-piel-natural-para-bogota/registra-techos-verdes-y-jardines-en-bogota> , cumpliendo con las características que se solicitan para ello.

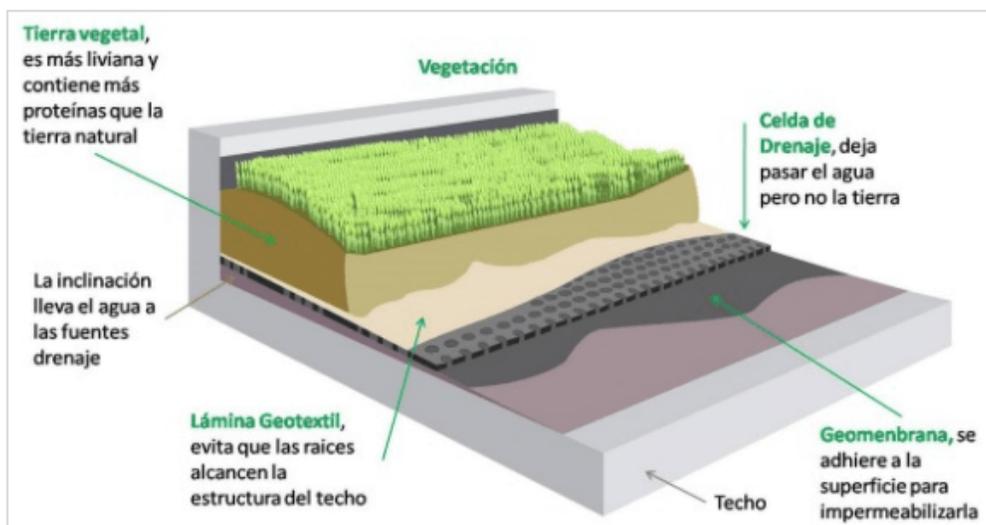
Un techo verde, se debe seleccionar teniendo en cuenta que es un sistema constructivo que permite mantener de manera sostenible un paisaje vegetal sobre la cubierta de un inmueble mediante una adecuada integración entre:

- a) El inmueble intervenido
- b) La Vegetación escogida.
- c) El medio de crecimiento diseñado, y los factores climáticos y ambientales.

A continuación se presenta una imagen del esquema básico de una sección que muestra las formas en las que se puede armar y por ende presentar un techo verde, las condiciones varían de acuerdo al diseño (tipo de vegetación, superficie, etc.)

Los componentes que todo techo verde debe tener (independiente del tipo de cubierta que se elija) son:

- a) Estructura soportante (techo) + inclinación
- b) Impermeabilización
- c) Drenaje de agua
- d) Protección Anti-raíz
- e) Filtro
- f) Medio de crecimiento
- g) Capa Vegetal (plantas)



Esquema de un Techo Verde. Vía LIBÉLULA

Figura 1. Elementos básicos de un techo verde. Fuente : <https://about-haus.com/beneficios-construir-un-techo-verde/>

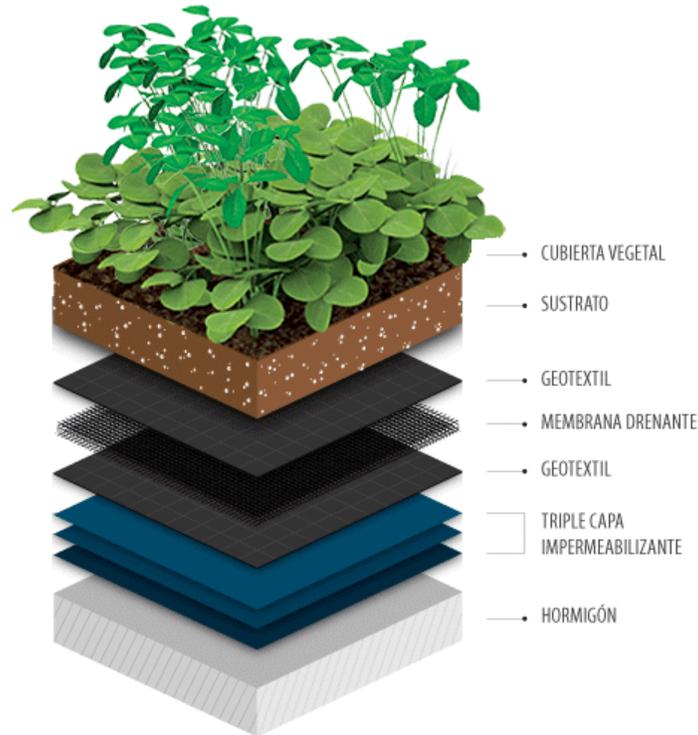


Figura 2. Sección de una cubierta o techo verde. Fuente. <https://www.newgreen.com.ar/terrazas-verdes-newgreen/>

En Bogotá contamos con cubiertas verdes integradas a parques, edificios públicos y privados, mobiliario urbano, entre otros. Un ejemplo de ellos es la que se instaló en el parque Bicentenario, ubicada en la calle 26 con cra 7ma.



Fotografía 2 Parque Bicentenario. Cubierta verde. Equipo Mazzanti. Fuente : <https://www.archdaily.co/co/898371/parque-bicentenario-un-proyecto-que-ayuda-a-coser-una-herida-urbana-en-bogota>

Tipos de Cubierta

Es importante saber que hay diferentes tipos de cubiertas vegetales. A modo general se pueden dividir en 3: Extensivos, Semi-extensivos e Intensivos.

- a) Cubierta Vegetal Extensiva: Cubierta vegetal no transitable, con poca vegetación, la que generalmente se compone de plantas rastreras.
- b) Cubierta Vegetal Intensiva: Cubierta vegetal transitable, con gran variedad de vegetación, soportando una amplia biodiversidad de plantas.

En la siguiente tabla se describen sus características y diferencias comparativas.

Tabla 1. Tipos de Cubiertas o techos verdes. Fuente Repositorio Juan Camilo Acevedo Romero. Universidad Distrital Fco José de Caldas. 2016⁹

Tipo de Cubierta	Descripción
Intensiva	Se consideran como jardines convencionales; son accesibles y tienen sustratos espesos que alojan una variedad de plantas, desde comestibles y arbustos, hasta arboles (Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009). Los techos intensivos requieren que la capa del sustrato sea mayor de 30cm., lo que aumenta el peso del sistema. Además, el costo de instalación y el mantenimiento son elevados ya que se requiere riego, fertilización y poda constante. Se procura que este tipo de sistema se realice en construcciones nuevas, ya que es necesario un cálculo estructural detallado debido a que el peso del sistema es superior a los 250 kg/m ² hasta los 400 Kg/m ² (Lopez, 2010).
Semi – Intensiva	Estos sistemas se consideran intermedios debido a que el espesor del sustrato oscila entre los 12 y 30cm., lo que disminuye la selección de especies vegetales en comparación con el sistema intensivo, aunque brinda más posibilidades que el sistema extensivo. Requieren mantenimiento regular. El peso aproximado del sistema es entre 120 y 250 kg/m ² (García, 2010)
Extensiva	Estos sistemas son de bajo mantenimiento y generalmente se instalan en lugares inaccesibles. A menudo se plantan en ellas especies con poco requerimiento de humedad, con solo 5 a 15cm. De sustrato y suelen subsistir con agua de lluvia. La vegetación es de bajo porte, usando generalmente especies endémicas o adaptadas a las condiciones ambientales. Por ello su mantenimiento es mínimo. El peso aproximado del sistema oscila entre 60 y 140 kg/m ² (Stovin et al., 2007).

Adaptado de (Zielinsky, García Collante, & Vega Paternina, 2012)

▪ Drenes filtrantes.

⁹ APOYO EN LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO E INDICADORES DE TECHOS VERDES Y JARDINES VERTICALES Y ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DEMOSTRATIVAS PARA EVALUAR LA ADAPTABILIDAD DE ESPECIES COMO COBERTURAS EN ESTE TIPO DE TECNOLOGÍAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. Repositorio Juan Camilo Acevedo Romero. Universidad Distrital Fco José de Caldas. 2016

Los drenes filtrantes son SUDS conformados por excavaciones poco profundas (entre 1 y 2 m) rellenas con materiales pétreos gruesos que crean almacenamiento temporal sub superficial. Estos sistemas poseen la desventaja de que pueden llegar a colmatarse con facilidad, por lo que deberán diseñarse cuidadosamente sus capas granulares interiores con el fin de maximizar su tiempo de vida útil. Estos elementos pueden captar lateralmente la escorrentía proveniente de vías, o de un colector que previamente haya recolectado aguas pluviales no circuladas con anterioridad a través de otro sistema SUDS. Estos sistemas deberán tener superficies cóncavas que permitan la concentración de la escorrentía hacia el centro del elemento.

Están diseñados para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas, transportándola hacia aguas. Permiten la infiltración y favorecen la laminación de la escorrentía. En general se pueden conectar al sistema de alcantarillado pluvial, para depositar los excesos.

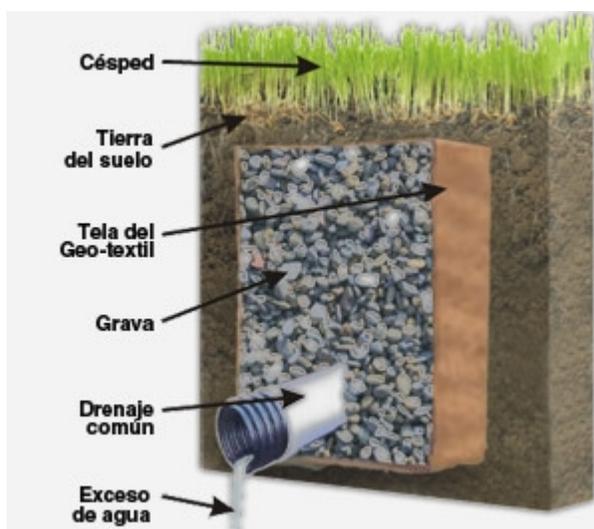


Figura 3 Corte de un dren instalado en zona verde. Fuente <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/drenes-filtrantes-o-franceses/>

El tiempo de estancia del agua en el dren debe ser suficientemente alto y la velocidad del agua suficientemente lenta para que exista infiltración a través del geo textil. De esta manera, en algunos drenes no es necesario dirigir el agua hasta el punto de vertido, pues al cabo de una cierta longitud se ha infiltrado totalmente.

Estos sistemas podrán diseñarse como sistemas de filtro utilizando para su conformación materiales granulares que permitan evacuar la totalidad de agua almacenada dentro del sistema en un lapso de tiempo no mayor a 24 horas. Sobre los drenes filtrantes podrá existir un almacenamiento temporal del agua lluvia mientras el agua es filtrada, garantizando en todo caso a través del diseño del sistema que la evacuación completa del sistema no se haga en un lapso no mayor al antes establecido, ni que se generen láminas que generen encharcamientos en vías o el urbanismo circundante.

Los sistemas basados en drenes que se ubiquen en las franjas de control ambiental deberán proveerse con sistemas de excesos que permitan evacuar los caudales asociados con tiempos de retorno mayores a 2 años. Estos sistemas de excesos estarán ubicados a distancias no

mayores a 50 m e irán conectados a la red de drenaje interna del dren. Deberán además facilitar la inspección de la tubería de drenaje interna del SUDS. La red interna de drenaje del SUDS deberá ser diseñada con los mismos criterios de velocidades y fuerzas de arrastre que se utilizan para sistemas de alcantarillado pluvial.

El diámetro mínimo a utilizar para la red interna de drenaje de los drenes filtrantes será de 8 pulgadas.¹⁰

A continuación se muestra un ejemplo de instalación de drenajes para drenar la humedad desde el suelo con excesos de agua, suelos bajos, terrenos arcillosos. Donde el agua produce expansiones y daños a las cimentaciones, cumpliendo con la función de eliminar los excesos de agua, dando manejo a posibles elevados niveles freáticos que deterioran las estructuras.

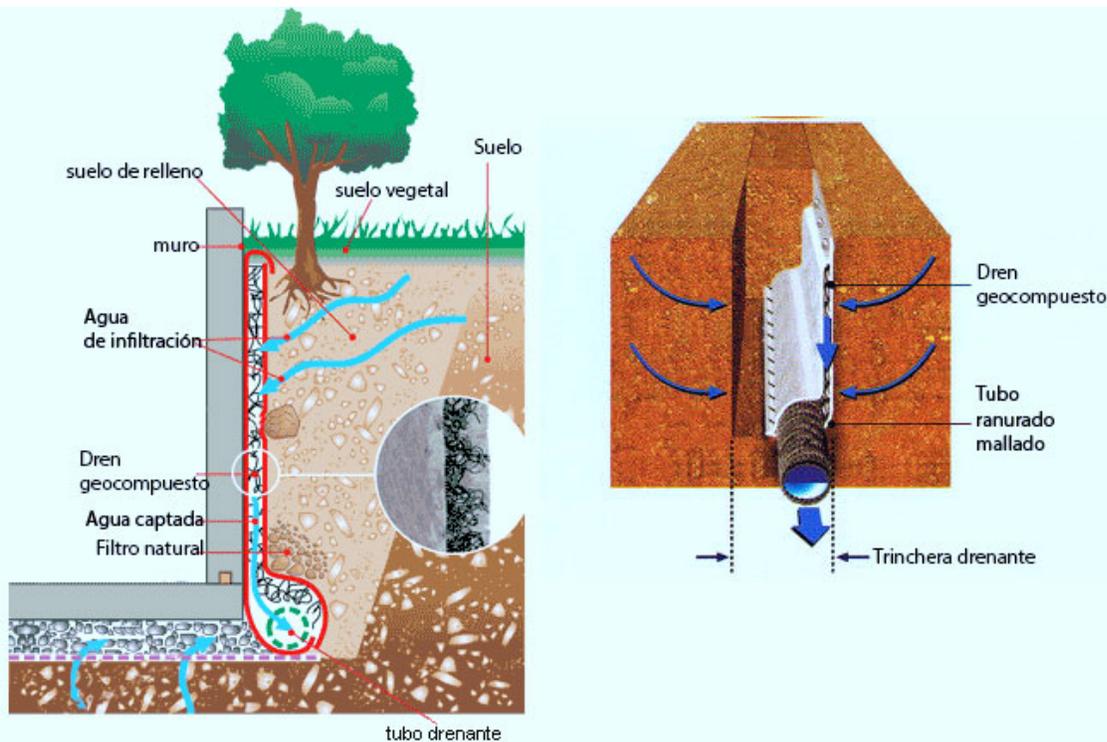


Figura 4 Ejemplo de conexión de un drenaje para manejo de excesos de agua. Fuente. <https://www.solucionesespeciales.net/humedad-desde-el-suelo-los-drenajes-cuando-la-humedad-viene-de-abajo/>

▪ Cunetas verdes (Swales)

Estos elementos consisten en canales vegetalizados por donde se transporta la escorrentía proveniente de las zonas impermeables. Estos elementos se conciben fundamentalmente como herramientas para la retención de basuras gruesas y sólidos suspendidos en donde además se favorece la remoción de contaminantes.

¹⁰ Documento técnico de soporte SUDS. [Sistemas urbanos de drenaje sostenible.](http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible)
<http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible>

Esos elementos se podrán diseñar como canales abiertos en flujo permanente con números de Manning correspondientes a canales vegetados. Estos canales podrán remplazar elementos típicos de drenaje tales como cunetas en concreto si se garantiza un dimensionamiento adecuado que permita evacuar los caudales de diseño. Las cunetas verdes deberán diseñarse con velocidades menores a 1 m/s con el fin de prevenir la posible erosión del terreno. Los diseñadores deberán propender por mantener la velocidad de flujo alrededor de 0.30 m/s con el fin de promover la remoción de contaminantes, la sedimentación del material particulado y evitar su resuspensión.

Las pendientes laterales deberán ser no mayores a 1:3 y el ancho de fondo no menor de 0.50 m con el fin de evitar daños a vehículos que accidentalmente accedan a las cunetas verdes. Deberá preverse en su diseño que las láminas de agua que se presenten dentro de los canales vegetados no generen efectos adversos sobre la vegetación ni que generen inundación en las vías o urbanismo circundante. Las cunetas verdes no deberán ubicarse en terrenos con pendientes menores al 4%.

Hay tres tipos de cunetas verdes:

- a) Las tradicionales, canales recubiertos de césped que se usan para transportar el agua de escorrentía.
- b) Las vegetales secas, con un filtro formado por un material muy permeable que permite que todo el volumen de calidad se infiltre a través del fondo del canal. Se llaman así porque la mayor parte del tiempo no contienen agua.
- c) Las vegetales húmedas retienen el agua de forma permanente, para ello, se ejecutan en lugares que tienen el nivel freático elevado o con el suelo impermeable.

Usos típicos:

- a) Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales/industriales.
- b) Se pueden establecer sustituyendo a las convencionales en carreteras.

Ventajas/beneficios:

- a) Fáciles de incorporar en el paisaje.
- b) Buena eliminación de contaminantes urbanos.
- c) Reducen el coeficiente de escorrentía y los volúmenes de agua generados.
- d) Tienen bajo costo.
- e) Su mantenimiento puede ser incorporado en la gestión general del paisaje urbano.
- f) La acumulación de elementos que dificulten su funcionamiento es fácil de detectar y eliminar.

La siguiente figura muestra un posible uso de este tipo de estructura en una vía, que por su ancho permite hacer la adaptación con un sistema urbano de drenaje, en este caso una cuneta verde.¹¹

¹¹ Las vías arteriales, generalmente son un buen tipo de calle para instalar cunetas verdes o vegetadas porque son largas, sin muchos cruces y lineales. Algunas de estas arterias puede que no tengan espacio para dedicar al paisajismo, pero pueden tener arcenes muy ancho que pueden estrecharse para instalarlas. Tomado de : <http://sudsostenible.com/elementos-de-una-calle-verde-cunetas-vegetadas/>



Figura 5 Ejemplo de implementación de una cuneta en vía arteria. Fuente. <http://sudsostenible.com/elementos-de-una-calle-verde-cunetas-vegetadas/>

Desventajas y limitaciones:

- a) No son aptas en zonas escarpadas.
- b) La opción de poner árboles para tratarlas como zonas ajardinadas está muy limitada o no es conveniente.
- c) Existe riesgo de bloqueo en la conexión con el colector de salida.

Requisitos de mantenimiento:

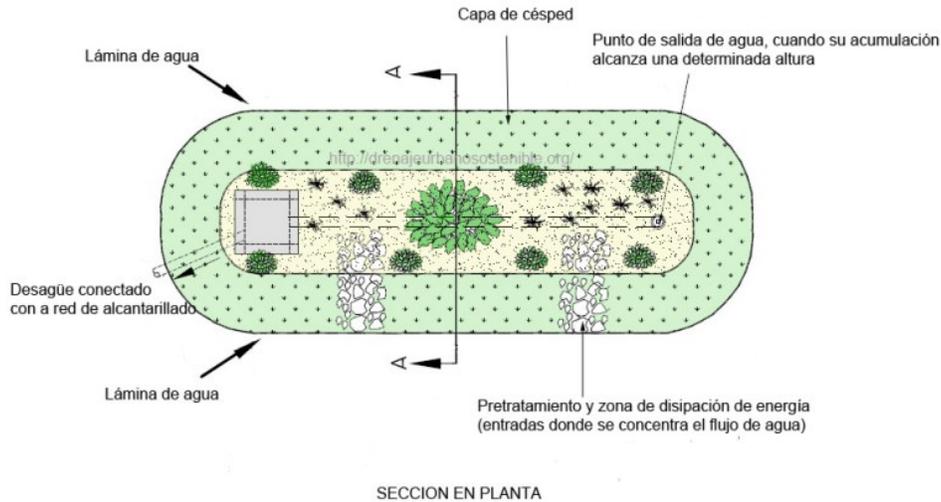
- a) Eliminación de residuos y cualquier elemento que obstruya la circulación del agua.
- b) Cortar periódicamente la hierba y eliminar los restos.
- c) Limpiar las entradas a las alcantarillas de desechos y sedimentos.
- d) Reparar las áreas erosionadas o dañadas.

Rendimiento

- a) Reducción del caudal punta: MEDIO
- b) Reducción de volumen: MEDIO
- c) Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- d) Potencial beneficio social/urbana: MEDIO/BUENO
- e) Potencial ecológico: MEDIO

▪ Zonas de bioretención.

Las zonas de bioretención, también llamadas filtros de bioretención, son zonas deprimidas poco profundas en las que normalmente se dispone de un sistema tricapa con dren inferior y cuyo funcionamiento dependen de la composición relativa de los suelos del sistema tricapa, con mezclas especialmente diseñadas para permitir la remoción de contaminantes y disminuir los picos de caudal. Una vez la escorrentía ha sido transitada a través de esta tipología de SUDS, el agua es conducida hacia las redes de alcantarillado pluvial.



<http://drenajeurbanosostenible.org/>

Figura 6. Ejemplo de un diseño de zona de biorretención, sección planta. Fuente. <http://sudsostenible.com/componentes-tipicos-de-un-sistema-de-biorretencion/>



<http://drenajeurbanosostenible.org/>

Figura 7. Ejemplo de un diseño de zona de biorretención, sección transversal. Fuente. <http://sudsostenible.com/componentes-tipicos-de-un-sistema-de-biorretencion/>

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

Las áreas de drenaje de los sistemas de biorretención se limitarán a un máximo de 2 hectáreas. Áreas más grandes podrán ser drenadas a través de esta tipología de sistemas siempre y cuando la profundidad de los sistemas diseñados no implique la inundación del SUDS por la presencia de niveles freáticos altos o que se castigue adversamente el desempeño del elemento.

Estos elementos deberán acomodar el volumen a tratar con fines de calidad de agua de manera que la cota de lámina de agua en el elemento esté por lo menos 0.15 m por debajo de la superficie del terreno circundante. El caudal asociado deberá además evacuarse en un periodo de menos de 24 horas con el fin de proveer al sistema la capacidad de transitar eventos de precipitación separados en promedio un día. Estos SUDS deberán contar obligatoriamente con tuberías de excesos que permitan evacuar sin riesgo de inundación del terreno vecino las crecientes mayores a las asociadas con el volumen a tratar con fines de calidad de agua.

Los principales componentes de un sistema de biorretención son:

- a) El pretratamiento (opcional)
- b) La zona de entrada de escorrentía
- c) Zona de almacenamiento superficial (área de acumulación)
- d) Mulch o capa de mantillo
- e) Mezcla de suelo para la biorretención
- f) Vegetación
- g) Lecho de arena o de grava con desagüe inferior (opcional)
- h) Almacenamiento adicional en capa de grava (opcional)
- i) Punto de salida del agua por desbordamiento.

▪ **Sumidero tipo alcorque inundable.**

Estos elementos son fundamentalmente zonas de bioretención que se usarán como un sistema de apoyo al sistema de captación de aguas lluvias en vías a través de sumideros laterales convencionales. Estos sumideros serán similares a los ya definidos por las Normas Técnica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (SL-100, SL150 y SL-200), pero con una longitud de ventana de captación mayor en cada caso de 1.00 m.

En este metro adicional, se conformará un alcorque que se inundará con agua lluvia que será filtrada a través de un sistema de capas granulares con vegetación superficial.

Los alcorques tienen como objetivo regular la infiltración de eventos de precipitación de poca magnitud. Sin embargo, también pueden emplearse para almacenar la escorrentía de eventos asociados a diferentes periodos de retorno (i.e. 10 años), para lo cual se implementan alcorques en serie que permitan manejar mayor volumen de escorrentía. Esta metodología presenta el diseño de zonas de bio-retención que pueden incluir árboles. No obstante, los parámetros de diseño se enfocan en alcorques pues es posible comprobar qué porcentaje del volumen a tratar es manejado por la estructura.

En la siguiente figura se puede apreciar un ejemplo del funcionamiento de un alcorque integrado por otros elementos que le permiten la regulación y manejo de las escorrentías.

ALCORQUE EN SOTERRAMIENTO

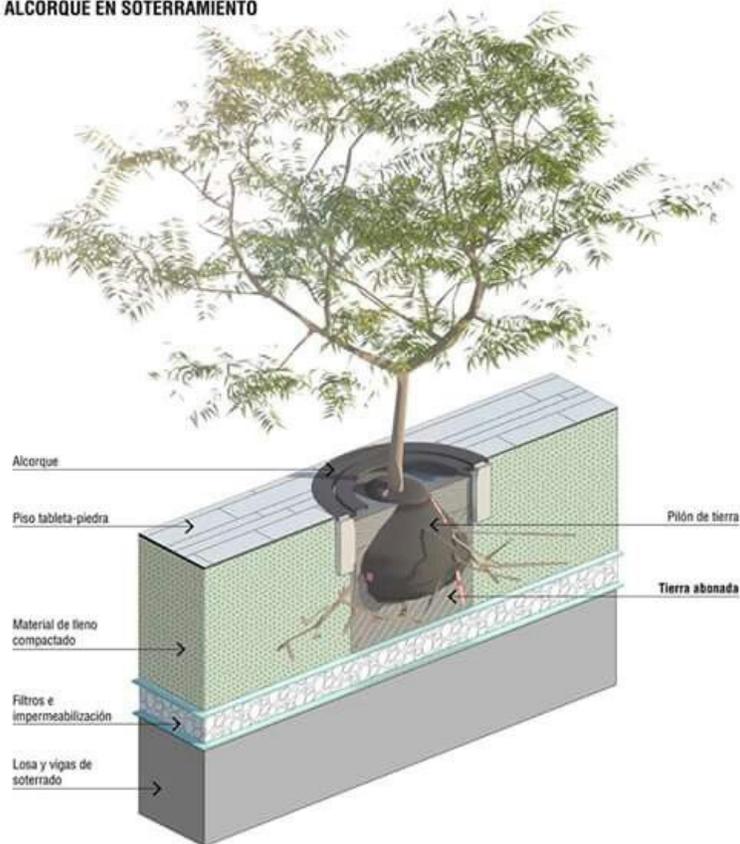


Figura 8. Tipo de Alcorque, como elemento de urbanismo. Fuente.
<https://i.pinimg.com/originals/72/81/0a/72810a3a2c5fc08ef1e190bf7efb1ebc.jpg>

- **Superficies permeables.**

Las superficies permeables proporcionan un medio propicio para el tráfico peatonal o vehicular permitiendo simultáneamente la percolación de las aguas lluvias a las capas inferiores de la estructura de pavimento. El objetivo de este SUDS consistirá fundamentalmente en almacenar el agua lluvia percolada temporalmente disminuyendo así la cantidad de escorrentía que de otra manera quedaría en superficie.

De acuerdo a lo establecido por la “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)”, del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental. CIIA, entre los tipos de superficies, encontramos los pavimentos permeables, definidos como: “Un grupo de sistemas cuyo principal objetivo es reemplazar el pavimento convencional por un tipo de pavimento que permita drenar el agua hacia el subsuelo, de manera que la escorrentía no se acumule en la superficie.”

Esta tipología no abarca solamente el componente superficial de los pavimentos, pues incluye un grupo de componentes subterráneos que no conforman los pavimentos convencionales, por medio de los cuales se da el proceso de filtración e infiltración hacia el subsuelo. Dado que este tipo de pavimentos es más sensible frente al peso y la velocidad del tráfico que puede soportar

en comparación con los sistemas tradicionales, su implementación no se recomienda en avenidas de alto tráfico ni en zonas por donde transite tráfico pesado, pues es muy probable que el suelo y las capas superficiales se desestabilicen, haciendo que se fragmenten los intersticios de las capas. Por esta razón, los principales espacios de implementación de este tipo de estructuras consisten en los parqueaderos descubiertos, las bahías públicas de estacionamiento y en vías con baja carga peatonal o vehicular.

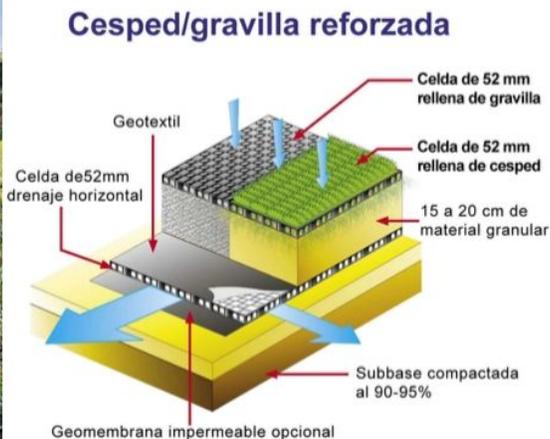
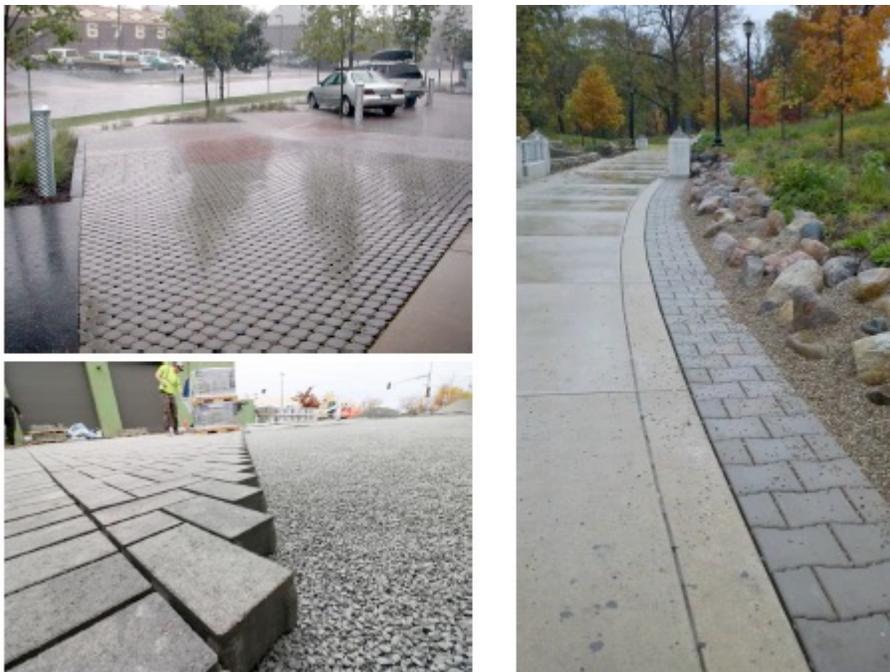


Figura 9. Esquema de SUDS, superficie permeable incorporada. Fuente: www.poreclima.es

El esquema genérico de los sistemas de pavimentos permeables incluye cuatro capas principales, aunque en ciertos esquemas y casos específicos se pueden añadir algunas capas más para agregar mayor resistencia o almacenar un mayor volumen de retención.

- a) En primer lugar, se tiene la capa superficial que es aquella que difiere de manera más importante en los sistemas de pavimentos permeables. Esta capa puede estar conformada por una mezcla asfáltica permeable, por concreto poroso, grava porosa, adoquines entrelazados o adoquines de rejillas de concreto. La selección del tipo de capa superficial que se implemente depende del uso que se le quiera dar al pavimento, y de las condiciones estéticas que se quieran generar.
- b) En segundo lugar, se ubica una capa de nivelación compuesta típicamente por arena y un material permeable opcional cuya función es estabilizar la capa superior.
- c) La tercera capa de estos sistemas corresponde a la sub-base o capa de almacenamiento, que está compuesta por un material granular a través del cual se detiene la escorrentía.
- d) En último lugar, se utiliza una capa filtrante que contiene un relleno (arena o piedra triturada), por medio de la cual se infiltra el agua que atraviesa las capas superiores.



Fotografía 3 Tipos de superficies permeables. Fuente. SUDS - Foro de Sostenibilidad - 2019.



Fotografía 4. Adoquines, como superficies permeables. Fuente: <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/pavimentos-permeables/>

Usos típicos:

- En parkings, aceras y calzadas con poco tráfico
- Gestión de la calidad del agua de escorrentía urbana, son capaces de retener una alta gama de contaminantes.

Ventajas/beneficios:

- Reducen los picos de caudal disminuyendo el riesgo de inundación aguas abajo.
- Reducción de los efectos de la contaminación en el agua de escorrentía.
- Pueden ser usados en zonas de alta densidad poblacional.

- d) Reducción de la necesidad de realizar excavaciones profundas para colocación de sistemas de drenaje convencionales, lo que abarata costes.
- e) Gran flexibilidad en diseño y tipos.
- f) Se pueden usar como parte de un sistema en línea en aquellos lugares donde la infiltración del agua puede conllevar problemas.
- g) Permiten un doble uso del espacio, por lo que no es significativa su ocupación en suelo.
- h) Reducen o eliminan la presencia de imbornales y colectores.
- i) Eliminan el encharcamiento superficial.
- j) Son resistentes a la falta de mantenimiento.
- k) Con buena aceptabilidad por parte de la comunidad.

Desventajas y limitaciones:

- a) No pueden utilizarse donde haya arrastre superficial de grandes cargas de sedimentos.
- b) Por ahora no se usan en carreteras con tráfico elevado.
- c) A largo plazo, si no hay mantenimiento, existe riesgo de crecimiento de malas hierbas y de obstrucciones.

Requisitos de mantenimiento:

- a) El mantenimiento depende del tipo de superficie permeable, aunque hay algunas pautas generales:
- b) Barrido frecuente.
- c) Los elementos que se eliminan de capas más profundas como hidrocarburos o metales pesados ha de seguir un tratamiento especial.

Rendimiento

- a) Reducción del caudal punta: BUENO
- b) Reducción de volumen: BUENO
- c) Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- d) Potencial beneficio social/urbana: BAJO
- e) Potencial ecológico: BAJO

▪ **Pondaje húmedo vegetado.**

En esta tipología de SUDS, se busca conformar un hábitat artificialmente en donde se posee una lámina permanente de agua que es mantenida por medio del uso de una tubería de excesos elevada. El agua del cuenco permanente se mezcla con el agua de eventos anteriores de precipitación. Ante lluvia, el cuenco se llena y el agua es lentamente liberada por un periodo de 2 a 5 días. Debido a que las aguas de primer lavado se mezclan con las ya presentes al interior de la piscina permanente del SUDS, la concentración de contaminantes en el agua de salida es menor.

La existencia de una lámina de agua permanente permite la sedimentación del material particulado, así como la remoción de contaminantes vía actividad biológica de plantas, algas y bacterias presentes en la biota que se forma dentro de estos elementos. Esta tipología de SUDS puede emplearse siempre y cuando se garantice la presencia continua de agua que permita el soporte de la vegetación acuática en periodos secos.

Esta tipología de SUDS debe diseñarse buscando que la velocidad del flujo interior no posea la capacidad de resuspender sedimentos. En general los requerimientos de área de este tipo de elementos son mayores que para otras clases de SUDS, por lo que deberán usarse en lugares

donde las necesidades de espacio no sean apremiantes (por ejemplo, en parques). El diseño de la profundidad de estos sistemas es crítico dado que cuencos muy poco profundos generarán corrientes superficiales que pueden generar resuspensión de sedimentos, mientras que por otro lado, profundidades muy grandes pueden generar estratificación térmica del agua o condiciones anóxicas que liberen contaminantes indeseables en el agua. Los diseñadores verificarán que ninguna de las dos condiciones antes descritas pueda desarrollarse. De todas maneras, la profundidad del sistema no deberá exceder en ningún caso 1.50 m.

Los diseños de ingeniería de los cuencos húmedos de detención deberán incluir una franja vegetada de 3 metros de ancho a lo largo de todo el perímetro. Esta franja deberá estar parcialmente sumergida con el fin de establecer un medio propicio para el desarrollo de vegetación que promueva la retención de sólidos transportados por la escorrentía y la remoción biológica de contaminantes solubles.

Estos SUDS deberán estar cercados, o contar con las medidas alternativas de protección necesarias, con el fin de prevenir el ingreso de niños dentro de la piscina permanente.



Fotografía 5 Humedal artificial. Fuente: <https://www.projar.es/tipologias-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>

Usos típicos:

Depresiones del terreno donde se puede retener agua, en zonas residenciales donde puede tener un uso paisajístico o recreativo.

Ventajas/beneficios:

- Pueden suponer una nueva fuente del agua como recurso (para limpieza, riego...), reduciendo su demanda de la red de abastecimiento.
- Reduce el pico del hidrograma en la red de saneamiento al retener parte del agua de lluvia.
- Si el agua recogida no es para consumo directo, no necesita un tratamiento, por lo que la instalación del sistema es barata.

Desventajas y limitaciones:

- Si hay que instalar un sistema de tratamiento, se encarece bastante.
- A veces se requiere de un sistema de bombeo.

c) Estéticamente no suelen ser atractivos.

Requisitos de mantenimiento:

- Eliminación de restos y residuos.
- Mantener en buen estado la vegetación.
- Limpiar las entradas y salidas de agua.
- Controlar el nivel de sedimentos y eliminar cuando sea preciso.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: ALTO
- Reducción de volumen: ESCASO
- Tratamiento de calidad de agua: MEDIO
- Potencial beneficio social/urbana: ALTO
- Potencial ecológico: MEDIO

A continuación se incluye un esquema que propone el funcionamiento integral de sistemas urbanos de drenaje en línea, lo cual permite un mayor aprovechamiento de las aguas lluvias y escorrentías, de tal manera que optimiza la sostenibilidad del caso (parque), en actividades como riego, recreación, manejo de humedad y temperatura, entre otros.

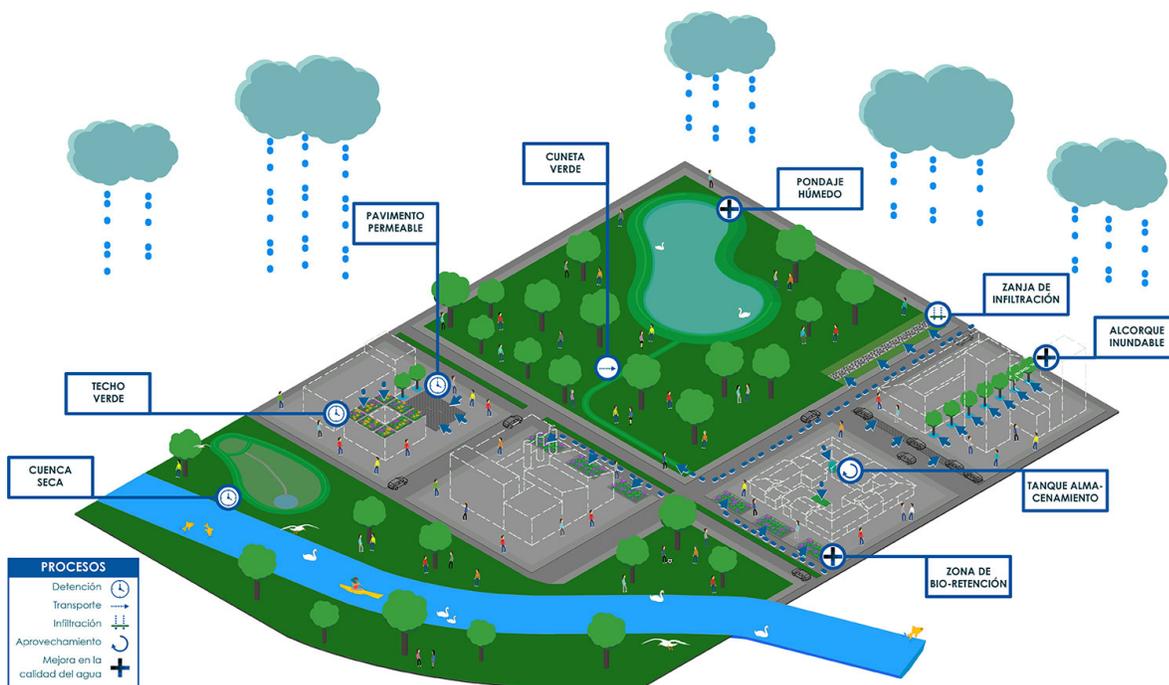


Figura 10. Propuesta de funcionamiento integral de tipologías de SUDS. Fuente. <https://plazacapital.co/webs/produccion5/SUDS.html>

REFERENCIAS

- Acevedo Romero, Juan Camilo. Universidad Distrital Fco José de Caldas. 2016. Repositorio APOYO EN LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO E INDICADORES DE TECHOS VERDES Y JARDINES VERTICALES Y ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS

DEMOSTRATIVAS PARA EVALUAR LA ADAPTABILIDAD DE ESPECIES COMO COBERTURAS EN ESTE TIPO DE TECNOLOGÍAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

- Martínez Acosta, José A. Universidad de Los Andes. 2017. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN ÁREAS RESIDENCIALES, A PARTIR DE SIG. CASO DE ESTUDIO BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.
- Diario El Espectador. Sección Medio Ambiente. Techos verdes para rescatar la ciudad .18 oct. 2014 - 9:00 p. m. Por: Estefanía Avella Bermúdez. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/techos-verdes-para-rescatar-la-ciudad/>
- Documento técnico de soporte SUDS. [Sistemas urbanos de drenaje sostenible.](http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible) <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible>
- “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)”, del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental. CIAA <https://drive.google.com/drive/folders/0B8ACBHENHbvyNS1DdjB4am40VE0>
- Norma técnica NS 166 CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS). EAAB. 2018
- SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/sobre-sud-sostenible/>

Elaboró: Suyapa Barón López / Profesional Universitario

Aprobó: Ing. Lindón Losada / Subdirector de reducción del riesgo y adaptación al cambio climático.

Fecha de Aprobación: 30 de septiembre de 2020