

CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)

Código: NS-166
Estado: Vigente
Versión: 0,0
Origen: EAAB-Norma Técnica
Tipo Doc.: Norma Téc. de Servicio Elaborada

INFORMACION GENERAL

Tema: CONSTRUCCIÓN
Comité: Normalización
Antecedentes:
Vigente desde: 09/02/2018
Contenido del Documento :

0. TABLA DE CONTENIDO

1. ALCANCE
2. DOCUMENTOS RELACIONADOS
3. TERMINOLOGÍA
4. REQUISITOS
 - 4.1. GENERALIDADES
 - 4.1.1. Documentación requerida
 - 4.1.2. Aspectos de construcción
 - 4.2. CONDICIONES DE USO
 - 4.3. DISEÑO HIDROLÓGICO
 - 4.3.1. Caudal para un periodo de retorno de diseño (Q_b)
 - 4.3.2. Volumen de calidad o tratamiento (V_c)
 - 4.3.3. Determinación de volumen de calidad (V_c)
 - 4.3.4. Estimación de la profundidad de lluvia (h_p) para la ciudad de Bogotá
 - 4.3.5. Caudal de diseño asociado a un periodo de retorno
 - 4.3.6. Estimación aproximada de (h_p) a partir de curvas IDF
 - 4.4. TRENES DE TRATAMIENTO
 - 4.5. TIPOLOGÍA DE SUDS
 - 4.5.1. Alcorques inundables
 - 4.5.2. Cuenca seca de drenaje extendido
 - 4.5.3. Cunetas verdes
 - 4.5.4. Tanques de almacenamiento
 - 4.5.5. Pavimentos permeables
 - 4.5.6. Zanjas de infiltración
 - 4.5.7. Zonas de bio-retención
 - 4.6. ESTRUCTURAS ANEXAS
 - 4.6.1. Estructuras de pretratamiento
 - 4.6.2. Estructuras de entrada
 - 4.6.3. Estructuras anexas a la estructura de entrada
 - 4.6.4. Estructuras de salida
 - 4.6.5. Estructuras anexas a la estructura de salida
 - 4.6.6. Estructuras de detención o retención
 - 4.6.7. Estructuras para monitoreo y/o mantenimiento
 - 4.7. CONEXIÓN AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO CONVENCIONAL

ANEXOS

Anexo A. 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. (2016): Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA), Universidad de los Andes.

Anexo B. Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y Hojas de pre-dimensionamiento de: Alcorques inundables, cuencas secas de drenaje extendido, cunetas verdes, tanques de almacenamiento, pavimentos permeables, zanjas de infiltración y zonas de bio-retención. (2017), Bogotá: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA), Universidad de los Andes.

Anexo C. Cartilla y fichas técnicas por tipología: Alcorques inundables, cuencas secas de drenaje extendido, cunetas verdes, tanques de almacenamiento, pavimentos permeables, zanjas de infiltración y zonas de bio-retención. (2017): Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA), Universidad de los Andes.

3. TERMINOLOGÍA

A continuación, se definen los principales conceptos involucrados en esta norma. La terminología que no esté presente aquí puede encontrarse en la norma [“NT-003 Terminología de alcantarillado”](#) y [“NT-005 Terminología sanitaria y ambiental”](#).

3.1 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.

3.2 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.

3.3 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.

3.4 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.

3.5 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.

3.6 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.

3.7 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.

3.8 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.

3.9 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.

3.10 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.

3.11 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.

3.12 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.

3.13 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.

3.14 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.

3.15 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.

3.16 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.

3.17 GEOMEMBRANA

Material sintético impermeable en forma de lámina, generalmente flexible.

3.18 GEOTEXTIL

Geosintético, textil permeable utilizado en aplicaciones de ingeniería.

3.19 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.

3.20 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.

3.21 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.

3.22 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.

3.23 PROFUNDIDAD DE LÁMINA DE ESCORRENTÍA (h_{wqcv})

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.

3.24 REJILLAS

Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.

3.25 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.

3.26 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).

3.27 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.

3.28 TIEMPO DE DRENAJE

Tiempo máximo permitido para que un SUDS evacúe el agua almacenada sin que se ocasione daños en el funcionamiento de éste.

3.29 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.

3.30 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.

3.31 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.

3.32 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.

3.33 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.

3.34 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.

3.35 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.

3.36 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.

3.37 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.

3.38 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.

3.39 VOLUMEN DE TRATAMIENTO (V_c)

Constituye el volumen de agua de diseño de la tipología de SUDS, obtenido a partir de la profundidad de la lámina de escorrentía (h_{wQCV}), 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.

3.40 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.

3.41 ZONAS DE BIO-RETENCIÓN

Tipología y/o estructura de SUDS que detiene, infiltra 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.

4. REQUISITOS

4.1 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 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.

4.1.1 Documentación requerida

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

- o 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.

- o Informe de impacto ambiental de acuerdo con lo establecido en la [“NS-038 Notes Link Manual de manejo de impacto ambiental y urbano”](#).
- o Informe hidrológico que incluya el valor de profundidad de lluvia (h_p) y profundidad de lámina de agua para el volumen de tratamiento (hw_{qcv}) 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”](#).
- o 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 la presente norma técnica.
- o 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 EAB-ESP [“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”](#).
- o 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.
- o 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.
 - o 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.
 - o 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.

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

4.1.2.1. 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.

4.1.2.2. 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 cespedon, 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 empedradización con cespedon 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.

4.1.2.3. 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.

4.2 CONDICIONES DE USO

Esta norma 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”](#).

4.3 DISEÑO HIDROLÓGICO

El diseño hidrológico de cada tipología de SUDS consiste en determinar mediante aproximaciones de cálculo la cantidad de escorrentía que ingresaría a las estructuras a implementar. Dependiendo de la tipología, esto se puede determinar a partir del caudal para un periodo de retorno de diseño (Q_b) o a partir del volumen de tratamiento (V_c). Las tipologías diseñadas a partir del Q_b (cunetas verdes) buscan reducir caudales pico a través de almacenamiento temporal. Por otra parte, las tipologías diseñadas a partir del V_c (alcorques inundables, cuenca seca de drenaje extendido, pavimentos permeables, zanjas de infiltración y zonas de bio-retención) están orientadas fundamentalmente a la reducción de volúmenes de escorrentía y cargas contaminantes. A continuación, se presentan las ecuaciones más relevantes para las tipologías que fundamentan su diseño hidrológico en la aproximación de volumen de tratamiento para el control de la calidad de agua.

4.3.1. Caudal para un periodo de retorno de diseño (Q_b)

Para el caso de la ciudad de Bogotá, los diseños de tipologías y estructuras anexas basadas en caudal para un periodo de retorno de diseño (Q_b) deben estar soportadas en la norma técnica vigente [“NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado”](#).

4.3.2. Volumen de calidad o tratamiento (V_c)

El volumen de calidad (V_c) se define a partir de la profundidad de lámina de escorrentía hw_{QCV} (Water Quality Control Volume o Water Quality Capture Volume) o profundidad de lámina para el volumen de tratamiento de calidad del agua del mayor evento de escorrentía a ser completamente capturado y tratado por medio de SUDS. Este volumen de captura representa el balance adecuado en términos de costo eficiencia entre tormentas tratadas, remoción de sólidos y costos de construcción y operación. Para un mayor detalle de este concepto se sugiere revisar el capítulo 4 del Anexo B.

La estimación directa de h_{wqcv} se hace a partir de valores o series medidas o simuladas de eventos independientes de escorrentía afluentes a la tipología. El cálculo del h_{wqcv} de manera indirecta se determina asumiendo como equivalente el punto de inflexión del histograma acumulado normalizado de eventos independientes de tormenta o como un percentil de éstos. Para esto, la profundidad de lluvia (h_p) asociada al punto de inflexión o al percentil de la serie de eventos de tormenta debe ser multiplicada por un factor de escorrentía (K_i), que depende de las características de permeabilidad del área de drenaje.

Para el caso de Bogotá, este factor de escorrentía (K_i) es equivalente a los coeficientes de escorrentía (C_i) presentados en la norma técnica de la Empresa de Acueducto [“NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado”](#). Por lo tanto, se deben acoger los valores presentados en la norma mencionada, favoreciendo la concordancia con la normatividad existente. El cálculo del valor de h_{wqcv} se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$h_{wqcv} = C_i \cdot h_p$$

Donde h_{wqcv} = Profundidad de lámina del volumen de calidad de agua (mm), C_i = Coeficiente de escorrentía y h_p = Profundidad de lluvia (mm).

En el Anexo B se presenta de manera detallada tres métodos de cálculo del h_{wqcv} de manera directa (series históricas de escorrentía, modelos de lluvia-escorrentía y percentil 80-90 de las series acumuladas) y cuatro métodos de cálculo de manera indirecta a partir de la profundidad de lluvia (h_p) (percentil de la serie de eventos de lluvia, punto de inflexión, primero milímetros y máximo valor entre periodo de retorno, primeros milímetros de profundidad y percentil 90 de los eventos de lluvia).

4.3.3 Determinación de volumen de calidad (V_c)

A partir del valor estimado de h_{wqcv} , el volumen de tratamiento de calidad se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$V_c = 10 \cdot \alpha \cdot C \cdot h_{wqcv} \cdot A$$

Donde V_c = Volumen de tratamiento (m^3), A = Área de drenaje (ha), h_{wqcv} = Profundidad de lámina de agua para el volumen de tratamiento (mm), α y C = Coeficientes dependientes del tiempo de drenaje y de la tipología particular.

Para la aplicación de la ecuación anterior es necesario establecer un valor de coeficiente (α), el cual depende del tiempo de drenaje (Ver Tabla 1), y de un valor de C que depende de la tipología de SUDS particular y del tiempo de drenaje. El Anexo B presenta un resumen de los valores recomendados de tiempos de drenaje, los parámetros α y C para algunas tipologías de SUDS. No obstante, si no se cuenta con información suficiente, se deben utilizar los coeficientes de escorrentía reportados en la norma técnica [“NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado”](#).

Tabla 1. Coeficiente α de acuerdo con el tiempo de drenaje

Coeficiente α	Tiempo de drenaje (h)
0.7	6
0.8	12
0.9	24
1	40

Por otra parte, si en el sitio de interés se cuenta con un valor de profundidad de lluvia (h_p), el volumen de calidad también puede calcularse por medio de la siguiente ecuación:

$$V_c = \alpha \cdot C_i \cdot h_p \cdot A$$

Donde V_c = Volumen de tratamiento (m^3), A = Área de drenaje (m^2), h_p = Profundidad de lluvia (m), y C_i = Coeficiente de escorrentía del terreno.

4.3.4. Estimación de la profundidad de lluvia (h_p) para la ciudad de Bogotá

Para determinar directamente la profundidad de lámina de escorrentía (h_{wqcv}) es necesario contar con series históricas de escorrentía registradas en áreas primarias de generación. Sin embargo, en Bogotá no existe esta información y, por lo tanto, esta profundidad se debe estimar a partir de

información horaria de lluvia. El análisis hidrológico detallado para la ciudad de Bogotá se presenta en el Anexo B.

Como resultado de éste se obtuvo una cobertura de información geográfica de distribución espacial de (h_p) en la ciudad de Bogotá, la cual puede ser consultada a través de la Dirección de Información Técnica y Geográfica (DITG) de la Empresa de Acueducto de Bogotá. Así pues, es posible obtener para cualquier sitio de la ciudad una profundidad de precipitación de diseño (h_p) mediante las coordenadas cartesianas del sitio a intervenir en sistema Magna Colombia Bogotá.

4.3.5. Caudal de diseño asociado a un periodo de retorno

Las estructuras y/o tipologías que dependen directamente de los caudales extremos de escorrentía requieren de los caudales pico asociados a un periodo de retorno específico. Estos caudales deberán ser definidos con base en la norma técnica “NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado”, usando las curvas vigentes de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) disponibles en la EAB-ESP y que se representan de la forma:

$$I = \frac{c T^m}{D^e + f}$$

Donde I = Intensidad de lluvia (mm/h), T = Periodo de retorno (años), D = Duración del evento (min) y c, m, e, f = Coeficientes dependientes de la estación de medición.

4.3.6. Estimación aproximada de (h_p) a partir de curvas IDF

Para propósitos de normalización en relación con SUDS en el sistema de drenaje de la ciudad, se hace necesario disponer de un procedimiento alternativo para la estimación de h_p basado en información oficial distrital. Por lo cual, se hace uso de la información vigente de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) disponibles en la EAB-ESP.

Este procedimiento relaciona el valor de h_p para distintas estaciones de la ciudad, con la profundidad de lluvia calculada ($h_{T,D}$) a partir de la información de las curvas IDF para diferentes periodos de retorno y duraciones. De este proceso se determinó que para la máxima correlación (con un coeficiente de determinación R^2 de 0.692) entre h_p y $h_{T,D}$ se obtiene un periodo de retorno (T) equivalente a 1.2 años y una duración (D) igual a 360 minutos (6 horas). En consecuencia, el procedimiento para estimar h_p a partir de las curvas IDF es el siguiente:

Estimar $h_{1.2,360}$ para la estación pluviográfica de la EAB-ESP más cercana al sitio de interés que cuente con curvas IDF. Para el caso de una estación pluviográfica específica usar la siguiente ecuación, con los valores de los parámetros c, m, e y f propios de la estación.

$$h_{1.2,360} = \left[\frac{c(1.2)^m}{(360)^e + f} \right] \left[\frac{360}{60} \right]$$

Transformar $h_{1.2,360}$ a h_p mediante la siguiente ecuación:

$$h_p = 10.19 \ln [h_{1.2,360}] - 16.785$$

Donde h_p = Profundidad de lluvia (mm) y $h_{1.2,360}$ = Profundidad de lluvia con un periodo de retorno de 1.2 años y una duración de 360 minutos (mm).

En el capítulo 4 del Anexo B se presenta en detalle el proceso realizado, y se presenta la relación entre h_p y la profundidad de lluvia estimada a partir de curvas IDF para un evento de lluvia de diseño con una duración de 6 horas y un periodo de retorno de 5 años, cuyo volumen de escorrentía se debe retener, detener o infiltrar en un tiempo mínimo de 18 horas, de acuerdo con los lineamientos de los Planes Parciales de Desarrollo de Bogotá.

4.4 TRENES DE TRATAMIENTO

El concepto de tren 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. La configuración de los trenes busca suplir las insuficiencias de manejo y tratamiento que conlleva la ejecución de una sola tipología de SUDS, puesto que ninguna de éstas puede suplir simultáneamente todos los objetivos de interés. De esta manera, el orden en el cual se estructure el tren repercutirá directamente en el volumen y la calidad de la escorrentía que se infiltre, aproveche en otros usos o descargue a un cuerpo de agua receptor o al sistema de drenaje convencional.

La selección de tipologías de SUDS y la configuración de las mismas depende de las restricciones propias del sitio escogido para la implementación de SUDS, así como de la importancia relativa de los objetivos del proyecto y de los procesos que se espera generar con la implementación de un tren de tratamiento. De esta manera, la selección de tipologías y trenes evalúa y compara alternativas de SUDS, así como su configuración. En primer lugar, se requiere definir las tipologías SUDS preseleccionadas de acuerdo con la zona de implementación. Luego, es necesario establecer cuales los criterios de selección de tipologías de SUDS, entre los que se encuentran: mejoramiento de la calidad del agua, control de volúmenes de escorrentía, amenidad y conflictos de uso, mantenimiento y costos. La importancia de cada criterio debe ser definida de forma específica para cada proyecto analizado, considerando los objetivos, características y restricciones particulares del mismo. Al finalizar esta etapa, se obtiene la evaluación cuantitativa independiente de las tipologías definidas inicialmente.

En tercer lugar, y dado que se espera que la implementación de trenes genere mayores beneficios que la utilización de tipologías aisladas, se debe valorar la idoneidad de diferentes configuraciones, considerando los procesos requeridos según los objetivos del proyecto (dentro de los que se incluyen infiltración, almacenamiento/detención, transporte, aprovechamiento de agua pluvial y aprovechamiento de agua para riego). Adicionalmente, es necesario establecer el número de tipologías que incluirá cada una de las alternativas del tren. En este sentido, es potestad de la EAB-ESP proveer al consultor una herramienta de apoyo para la selección de tipologías o trenes de tratamiento más apropiados para un sitio. Así mismo, la EAB-ESP es la encargada de valorar si la selección de las tipologías o los trenes de SUDS es idónea.

4.5 TIPOLOGÍA DE SUDS

Para el diseño preliminar en detalle de cada estructura, en el Anexo B se presentan hojas electrónicas de pre-dimensionamiento, las cuales son apoyo para el diseño de cada tipología. La norma técnica de SUDS y los anexos correspondientes podrán ser suministrados o consultados en la Biblioteca de la EAB-ESP. A continuación, se describen los aspectos más relevantes a considerar en el diseño y la construcción de cada tipología. Las fichas mencionadas en los esquemas de las tipologías pueden ser consultados en el Anexo C.

4.5.1. Alcorques inundables

4.5.1.1. Diseño

Esta tipología se compone de una caja o compartimiento prefabricado en concreto, que puede presentar fondo revestido en caso de que no sea viable realizar prácticas de infiltración. Cuenta con una tubería perforada subsuperficial que dirige la escorrentía fuera de la estructura cuando el volumen almacenado no se puede infiltrar completamente, y una tubería de rebose, que evita que eventos de lluvia superiores al de diseño superen el nivel de encharcamiento permitido en la estructura.

El material con el cual se rellena esta estructura se compone de una mezcla de arcilla y arena con tierra vegetal y compost. Por su parte, la planta (árbol/arbusto) que se siembra en esta tipología debe poseer características adecuadas que permitan su desarrollo, sin modificar las estructuras prefabricadas existentes. Rejillas para proteger la planta, disipadores de energía y una zona de almacenamiento temporal son algunos de los componentes adicionales que puede presentar esta

tipología. Información adicional y en mayor detalle del diseño de alcorques inundables pueden encontrarse en el Anexo B.

4.5.1.2. Operación

La escorrentía ingresa a la tipología de manera superficial o por medio de estructuras anexas de entrada (ver 4.6.2). En caso de que se requiera puede acoplarse de manera previa alguna estructura de pre-tratamiento (ver sección 4.6.1), para reducir la carga de contaminación que ingresa a esta tipología. Una vez el agua ingresa, ésta se almacena temporalmente en los intersticios del suelo empleado, interactuando directamente con la planta sembrada. Durante el tiempo de residencia, el agua es captada y tratada por la planta o por medio de procesos físicos de filtración, asimilación de nutrientes y adsorción de contaminantes en la matriz de suelo empleada. De manera gradual, el agua remanente se infiltra en el suelo circundante, o es descargada a otro sistema de drenaje o a un cuerpo de agua receptor a través de estructuras anexas de salida.

4.5.1.3. Criterios de localización

Esta estructura es apropiada para zonas urbanas altamente densificadas, donde las limitaciones de área disponible para la implementación de SUDS sea un factor limitante. Usualmente, los alcorques se disponen en serie y dado que se conectan directamente con superficies impermeables, pueden ser útiles como estructuras de pretratamiento en un tren de SUDS. No obstante, si el área de drenaje es muy grande o la pendiente es muy alta no se debe implementar esta tipología, puesto que la velocidad y el volumen de escorrentía pueden afectar la capacidad del alcorque en capturar e infiltrar el agua pluvial.

4.5.1.4. Restricciones

Las restricciones técnicas generales de implementación de alcorques inundables en un sitio particular se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Restricciones del sitio para la implementación de alcorques inundables

Restricción	Valor	Unidades
Pendiente longitudinal	< 10	%
Distancia al nivel freático	> 1	m
Tasa de infiltración del suelo	> 7	mm/h
Distancia a cimientos	> 2	m

4.5.1.5. Predimensionamiento

El proceso de diseño de alcorques inundables se compone de una serie de etapas de cálculo y verificación. En primer lugar, a partir del área tributaria, los coeficientes de escorrentía y la profundidad de la lámina de lluvia (h_p) del sitio de interés (ver sección 4.3), se debe determinar el volumen de calidad (V_c) que deberá tratar el alcorque (ver sección 4.3). Luego, se debe establecer una profundidad del sustrato (d_m), un tiempo de vaciado del filtro (T_d), un valor de permeabilidad (K) y una porosidad efectiva (n_m) de acuerdo con el sustrato utilizado en la tipología.

Posteriormente, es necesario definir de manera preliminar el área superficial de la parte superior del sustrato (A_{sm}), el área superficial de la parte más baja del área de encharcamiento (A_s) y el área superficial a la máxima profundidad de encharcamiento (A_r), a partir del área disponible en el sitio o de diseños preliminares. En la práctica, estas tres áreas pueden ser iguales, dependiendo de la geometría del alcorque. No obstante, se debe garantizar la siguiente condición:

$$A_s \leq 2 \cdot A_{sm}$$

Verificada la condición anterior, se debe estimar la profundidad máxima de encharcamiento (d). Si existe pretratamiento en la tipología, es necesario considerar dentro del proceso de cálculo el volumen almacenado en prácticas de pretratamiento (V_{pt}). Estas prácticas son necesarias para

reducir la cantidad de partículas gruesas de sedimento antes que éstas colmaten de manera prematura el sustrato. Se sugiere que los dispositivos asociados a estas prácticas se diseñen para distribuir la escorrentía a través de todo el ancho de la estructura. El volumen asociado a estas prácticas depende del tipo de medida a implementar, por lo tanto, en cada caso se debe calcular de manera particular este volumen.

Así mismo, se debe considerar una profundidad mínima de capa filtrante (d_f), la cual es la frontera entre el sustrato y la capa de drenaje. Ésta puede ser un geotextil o una capa delgada de agregado (ver Figura 1). Luego, se procede a estimar la profundidad de la capa de drenaje sólo si la tipología cuenta con tubería perforada. Así pues, es necesario considerar el diámetro de la tubería perforada (D_s), el cual debe garantizar el drenaje completo de la estructura en un tiempo de 12 horas, la porosidad efectiva de la capa de drenaje (n_g) y la profundidad de almacenamiento sobre y bajo la tubería perforada, para calcular la profundidad total de la capa de drenaje (d_c) definida de la siguiente manera.

$$d_c = d_{cg} + d_{as} + D_s$$

Donde d_c = Profundidad de capa de drenaje (m), d_{cg} = Profundidad de la capa de drenaje sobre la tubería perforada (m), d_{as} = Profundidad de la capa de drenaje bajo la tubería perforada (m) y D_s = Diámetro de la tubería perforada (m).

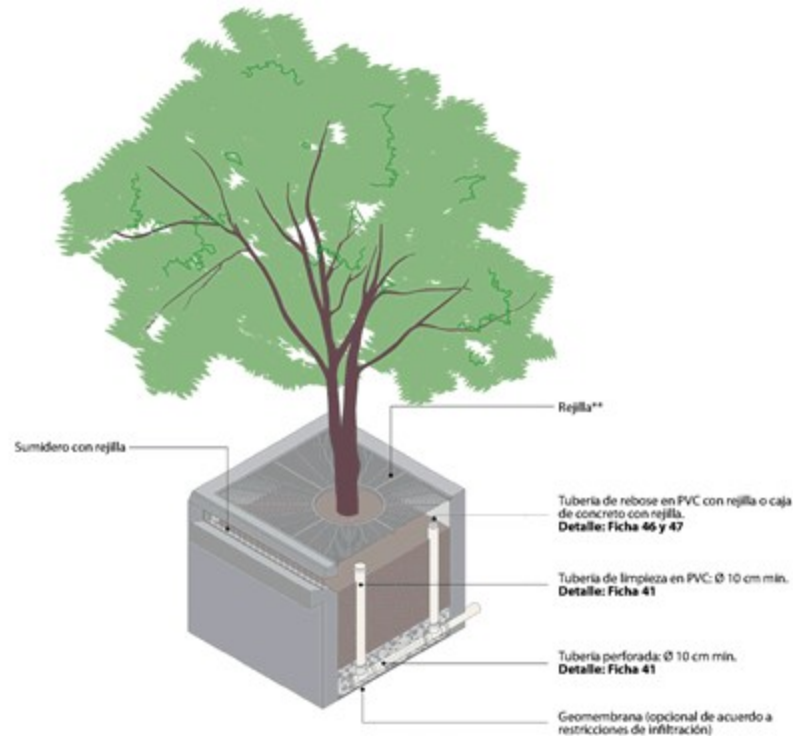


Figura 1. Esquema de referencia alcorque inundable

Luego, se deben determinar los diferentes volúmenes que tratará la tipología. A partir del volumen establecido para prácticas de pretratamiento (V_{pt}) y de las variables ya establecidas se calcula el volumen de encharcamiento (V_{en}), el cual corresponde al almacenamiento superficial que tiene el alcorque en los casos en los que la intensidad de los eventos de precipitación sea alta. Este volumen se determina como:

$$V_{en} = \frac{A_t + A_s}{2} \cdot d + V_{pt}$$

Donde V_{en} = Volumen de encharcamiento (m^3), A_r = Área superficial a la máxima profundidad de encharcamiento (m^2), A_s = Área superficial de la parte más baja del área de encharcamiento, d = Máxima profundidad de encharcamiento (m) y V_{pt} = Volumen almacenado en prácticas de pretratamiento (m^3).

Una vez se determinan las variables anteriores, es posible calcular el volumen total a tratar (V), el cual se estima de la siguiente manera:

$$V = A_{sm} \cdot (d_m \cdot n_m + d_c \cdot n_g) + V_{en}$$

Donde V = Volumen total a tratar (m^3), A_{sm} = Área superficial de la parte superior del sustrato (m^2), d_m = Profundidad del sustrato (m), n_m = Porosidad efectiva del sustrato (adimensional), d_c = Profundidad de capa de drenaje (m), n_g = Porosidad efectiva de la capa de grava, y V_{en} = Volumen de encharcamiento (m^3).

Consecuentemente, se determina el volumen infiltrado (V_{inf}), el cual hace referencia al volumen de lluvia que en la práctica se puede infiltrar en el suelo intervenido. Si el alcorque incluye tubería perforada, este valor se determina como:

$$V_{inf} = A_{sm} \cdot \text{Mínimo}(d_{ss} \cdot n_g ; t_{ir} \cdot f)$$

Donde V_{inf} = Volumen infiltrado (m^3), A_{sm} = Área superficial de la parte superior del sustrato (m^2), d_{ss} = Profundidad de la capa de drenaje bajo la tubería perforada (m), n_g = Porosidad efectiva de la capa de grava (adimensional), t_{ir} = Tiempo de infiltración total (d) y f = Tasa de infiltración (m/d).

En caso de que el sistema no incluya tubería perforada, el volumen infiltrado (V_{inf}) se define como:

$$V_{inf} = \text{Mínimo}(V ; A_{sm} \cdot t_{ir} \cdot f)$$

Donde V_{inf} = Volumen infiltrado (m^3), V = Volumen total (m^3), A_{sm} = Área superficial de la parte superior del sustrato (m^2), t_{ir} = Tiempo de infiltración total (d) y f = Tasa de infiltración (m/d).

Luego, se realiza el cálculo del volumen filtrado (V_f). Éste hace referencia al volumen de lluvia resultante de restar el volumen total a tratar (V) y el volumen infiltrado (V_{inf}), como se presenta a continuación.

$$V_f = V - V_{inf}$$

Donde V_f = Volumen filtrado (m^3), V = Volumen total a tratar (m^3) y V_{inf} = Volumen infiltrado (m^3).

Para comprobar los resultados obtenidos, se debe determinar el área superficial mínima de la parte superior del sustrato (A_{smin}), con el fin de verificar que ésta cumpla la condición de ser menor o igual al área superficial de la capa más baja del área de encharcamiento (A_{sm}). Si esta condición no se satisface, se deben cambiar las variables iniciales del proceso de cálculo según sea posible en el diseño preliminar, hasta cumplir con las condiciones mencionadas. El valor de A_{smin} se puede estimar de la siguiente manera:

$$A_{smin} = \frac{V \cdot d_m}{T_d \cdot k \cdot \left(\frac{d}{2} + d_m\right)}$$

Donde A_{smin} = Área superficial mínima de la parte superior del medio (m^2), V = Volumen total a tratar (m^3), d_m = Profundidad del sustrato (m), T_d = Tiempo de vaciado del filtro (h), k = Permeabilidad del sustrato (mm/h) y d = Máxima profundidad de encharcamiento (m).

Finalmente, se compara el volumen de calidad (V_c) que se obtuvo para el sitio de interés con el volumen total a tratar por la estructura (V), para determinar el porcentaje del volumen de calidad

manejado por el alcorque. Es necesario que la tipología maneje la totalidad (100%) del volumen de calidad. Si este valor es inferior, se deben modificar las condiciones iniciales del proceso de cálculo hasta cumplir esta condición o incluir más de una unidad de alcorque y evaluar su efecto conjunto.

En caso de que se presente un porcentaje superior, se pueden ajustar las condiciones iniciales para disminuir el tamaño del alcorque, siempre y cuando se maneje por completo el volumen de calidad y se garantice un espacio vital adecuado (circunferencia de radio a partir del tronco) para el árbol empleado en el alcorque. La Tabla 3 resumen las dimensiones de espacio vital presentadas en la “Cartilla de Andenes de Bogotá” de acuerdo con el porte del árbol.

Tabla 3. Espacio vital según porte de árbol

Porte del árbol	Espacio vital
Bajo	1 m
Medio	2 m
Alto	3 m

El Cuadro 1 presenta los valores de los parámetros de diseño de alcorques inundables. El diseño final del alcorque debe cumplir como mínimo estas restricciones. Si alguno de estos parámetros no se cumple, el diseñador debe justificar de manera clara los métodos y aproximaciones empleadas para garantizar el adecuado desempeño hidráulico y de tratamiento del alcorque. Especificaciones puntuales de diseño pueden ser consultadas en el Anexo B.

Cuadro 1. Parámetros de diseño de alcorques inundables

Estructura	Parámetros	Valor	Unidades
Alcorques inundables	Profundidad del sustrato (d_m)	> 0.60	m
	Tiempo de vaciado del filtro (T_f)	< 12	h
	Permeabilidad del sustrato (k)	60 – 70	mm/h
	Porosidad efectiva del sustrato (n_m)	0.4	–
	Máxima profundidad de encharcamiento (d)	> 0.15 ; < 0.3	m
	Diámetro de tubería perforada (D_s)	> 0.1 ; < 0.15	m
	Profundidad de la capa de drenaje sobre la tubería perforada (d_{cg})	> 0.15	m
	Profundidad de la capa de drenaje bajo la tubería perforada (d_{ss})	> 0.08	m
	Profundidad de la capa de drenaje (d_c)	0.33 – 0.38	m
	Profundidad de la capa filtrante (d_t)	> 0.05	m
	Porosidad efectiva de la capa de grava (n_g)	0.4	–

4.5.1.6 Cobertura vegetal asociada

La cobertura vegetal utilizada en alcorques inundables debe tener características deseables en cuanto al control de aguas lluvias y la tolerancia a contaminantes propios de la escorrentía urbana. Algunas de estas características incluyen:

- Larga expectativa de vida.
- Tasas rápidas de crecimiento.
- Alta tolerancia a periodos secos.
- Resistencia a contaminación del agua y el aire en el que se va a plantar.
- Sistema radicular extenso.
- Estructura de ramificación vertical.
- Corteza áspera.
- Tolerancia a suelos saturados.
- Follaje denso.

El listado específico de especies vegetadas (árboles/arbustos) aplicables al diseño de esta tipología puede encontrarse en el Anexo B.

4.5.1.7 Materiales

La selección de materiales específicos para una tipología en particular puede resultar complejo debido a que éstos pueden variar dependiendo de las características de fabricación, disponibilidad y/o existencia de proveedores locales. No obstante, a continuación, se presentan algunos de los materiales más usuales para la implementación de alcorques inundables.

(a) Contenedor

La construcción del contenedor se debe realizar en uno de los siguientes materiales: piedra, concreto, ladrillo, madera, arcilla y plástico. Para unidades aisladas se puede utilizar también metal o fibra de vidrio. Es necesario evitar el uso de materiales como madera tratada o metal galvanizado. Cuando la estructura de un alcorque colinda con un edificio, las jardineras o estructuras prefabricadas suelen construirse de los mismos materiales de construcción de la edificación contigua.

(b) Sustrato

El sustrato es uno de los componentes fundamentales para garantizar el adecuado funcionamiento de un alcorque, puesto que éste deberá estar en capacidad de almacenar de manera temporal la escorrentía capturada y, a su vez, permitir el crecimiento apropiado de las raíces de la cobertura vegetal empleada. Por esta razón, el sustrato deberá ser poroso, permeable, de baja compactación y de una profundidad mínima de 1 m.

Para garantizar estas características se debe emplear suelo modificado, el cual tendrá que ser evaluado previamente para asegurar las condiciones de porosidad, permeabilidad y compactación mencionadas. Si se desea incrementar la capacidad de infiltración del sustrato es necesario escarificar el suelo.

La mezcla de suelo utilizada en los alcorques debe ser una combinación de arcilla y arena (< 25% de arcilla) que esté libre de piedras, semillas de especies invasivas, troncos, raíces y material leñoso. El volumen de sustrato a emplear en el alcorque debe ser suficiente para el óptimo crecimiento de la especie de árbol o arbusto seleccionada. La composición recomendada del suelo se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición del sustrato

Componente	Contenido (%)
Arena	60 – 70
Compost	15 – 25
Tierra vegetal	10 – 20
Contenido orgánico	8 – 12
pH	5.5 – 7.5

(c) Sistema de drenaje

Para los alcorques que cuenten con tuberías perforadas (ver sección 4.6.5.1) e incluyan prácticas de infiltración es necesario incluir una capa filtrante de roca lavada entre el sustrato y la capa de drenaje. Esta capa filtrante debe tener partículas con un tamaño de tamiz menor o igual a 12.5 mm (agregado # 89) y profundidad mínima de 5 cm. Bajo la capa filtrante se debe colocar una capa de drenaje de agregado ASTM # 57, con una profundidad total de 33 a 38 cm (incluyendo el diámetro de la tubería perforada).

La capa de drenaje se compone de una cama de agregado #ASTM 57 de mínimo 15 cm de profundidad. Esta seguida de una tubería perforada (si se requiere) con un diámetro mínimo de 10 cm, la cual se ubica sobre una segunda cama de agregado #ASTM 57 de mínimo 8 cm de profundidad (ver sección 4.6.5.1). La tubería perforada debe estar construida en cloruro de polivinilo (PVC) o polietileno de alta densidad (HDPE). Si se cuenta con varias estructuras de alcorques alineadas, éstas pueden estar interconectadas entre sí por el sistema de drenaje o conectarse de manera individual y directa al sistema de alcantarillado pluvial (sumidero, red troncal o red secundaria) o a un cuerpo de agua receptor (humedal, quebrada y río).

En áreas donde la infiltración debe estar restringida o eliminada para evitar problemas de cimentación de vías o edificios adyacentes, se debe incluir barreras impermeables entre las paredes permeables de la estructura. En ese caso, bajo la capa de drenaje se debe disponer de una geomembrana que evite la infiltración no controlada de la estructura. Si se requiere, se puede proteger la geomembrana incorporando a la parte exterior del contenedor del alcorque un geotextil no tejido de 0.75 mm (ver norma de la Empresa de Acueducto [“NS-088 Notes Link Geotextiles y geocompuestos de drenaje”](#)), resistente a la tracción y a la perforación.

4.5.2 Cuenca seca de drenaje extendido

4.5.2.1 Diseño

Esta estructura consiste en una depresión extensa en terreno permeable, que permite el almacenamiento temporal del agua de escorrentía generada de un evento de precipitación. Su diseño se caracteriza por presentar taludes laterales que facilitan la captación y detención temporal de un volumen de escorrentía considerable. El objetivo de diseño de este SUDS es almacenar de manera transitoria el volumen de escorrentía, para luego infiltrar, evaporar, drenar y/o evacuar la totalidad de este volumen, y garantizar que la mayor parte del tiempo esta tipología permanezca seca. Esta estructura es la que mayor requerimiento de área posee frente a las demás tipologías consideradas en la presente norma técnica.

El diseño de esta tipología requiere de varios componentes estructurales adicionales para su funcionamiento, tales como: dissipador de energía (ver sección 4.6.3.1), antecámara (ver sección 4.6.1.4), canal de caudales bajos y micropiscina (ver sección 4.6.5.2), entre otros (ver Figura 2). Adicionalmente, esta tipología debe involucrar en su diseño un componente paisajístico, de tal modo que su implementación pueda acoplarse de la forma más adecuada al sitio de interés y que haga

factible la creación de espacios abiertos para la recreación de las personas que interactúen con frecuencia con el sitio intervenido, cuando la estructura se encuentre seca. De esta manera, se amortigua el caudal pico y el volumen de escorrentía aguas abajo de la estructura, mejorando a su vez la calidad del agua durante su tránsito por la tipología. Información adicional y en mayor detalle del diseño de cuenca seca de drenaje extendido pueden encontrarse en el Anexo B.

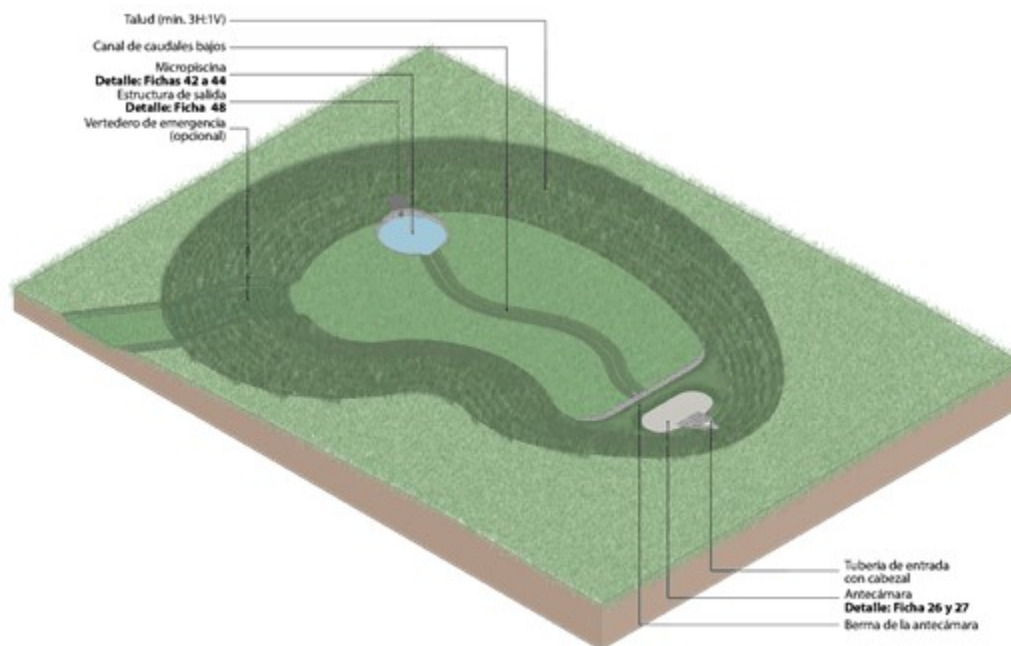


Figura 2. Esquema de referencia cuenca seca de drenaje extendido

4.5.2.2. Operación

La escorrentía puede ingresar a esta tipología de manera superficial o subsuperficial, a través de estructuras anexas que concentren el flujo de agua a la entrada de ésta. En caso de que se requiera, es posible acoplar de manera previa alguna estructura de pre-tratamiento (ver sección 4.6.1), para reducir la carga de contaminación que ingresa a esta tipología. Así mismo, en la parte inicial de este SUDS se recomienda utilizar disipadores de energía, debido al alto volumen de agua que puede llegar a ingresar. Luego de reducir la energía del agua a la entrada, el flujo de agua debe pasar por la antecámara. Ésta funciona como estructura complementaria de pretratamiento que facilita la remoción de sólidos sedimentables, de manera que éstos no ingresan directamente a la superficie de la cuenca. Al final de la antecámara se puede incluir una berma que regule el flujo que pasa de la antecámara a la superficie de detención de la cuenca.

Esta tipología de SUDS puede presentar dos casos de operación dependiendo de la magnitud del evento de lluvia. Para eventos de baja magnitud, la escorrentía captada transita la cuenca a través del canal de caudales bajos, el cual se encuentra dispuesto de manera central en el fondo de la cuenca. Para eventos con una alta magnitud de lluvia, la escorrentía captada ocupa la superficie de la cuenca, almacenándose de manera temporal en toda la estructura.

Luego de que un evento haya transcurrido y la escorrentía haya alcanzado el tiempo de detención de diseño, el volumen remanente en la cuenca debe evacuarse mediante una serie de estructuras de salida. Una de las más recurrentes es la micropiscina, la cual disminuye la probabilidad que los sólidos sedimentados se resuspendan a la salida de la estructura. Para eventos de alta magnitud de lluvia se cuenta con una estructura de salida que controla la descarga del agua almacenada a través de tuberías y/o vertederos de rebose. En caso de que la escorrentía sea descargada a un cuerpo de agua receptor y no al sistema de alcantarillado, se debe utilizar un enrocado en el punto de descarga para prevenir la erosión de esta zona.

4.5.2.3. Criterios de localización

Generalmente esta tipología permite almacenar un volumen de escorrentía mayor al de otras tipologías evaluadas en esta norma técnica; por lo tanto, su localización requiere de un área de implementación de mayor extensión. En áreas privadas su diseño y construcción es más sencillo si se trata de nuevos desarrollos, puesto que desde la planeación del proyecto se pueden preservar áreas verdes de extensión considerable que permitan la inclusión de estas zonas de drenaje a nivel comunitario. En áreas de espacio público su localización es más usual en zonas abiertas que posean pocas restricciones espaciales, por ejemplo: parques, separadores viales y/o terrenos baldíos. Implementar esta tipología en áreas urbanas con baja cobertura vegetal y de bajo paisajismo puede acrecentar de manera importante la valoración de amenidad y apariencia por parte de la comunidad.

4.5.2.4. Restricciones

Las restricciones generales de implementación de esta tipología en un sitio particular se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Restricciones del sitio para la implementación de cuenca seca de drenaje extendido

Restricciones	Valor	Unidades
Pendiente longitudinal	> 1 ; < 15	%
Distancia al nivel freático	> 3	m
Tasa de Infiltración del suelo	> 7	mm/h
Distancia a cimientos	> 6	m

4.5.2.5. Predimensionamiento

El propósito del diseño de la cuenca seca de drenaje extendido (CSDE) es proporcionar la detención del volumen de escorrentía de diseño en un periodo de tiempo extendido y, a su vez, maximizar la reducción del volumen drenado por medio de procesos de infiltración, evaporación, evapotranspiración y retención superficial. El diseño de esta estructura incluye diferentes etapas de cálculo y verificación.

En primer lugar, esta estructura se puede diseñar a partir del volumen de calidad (V_c) o a partir del volumen de control de inundaciones (V_i). La selección del volumen a utilizar para el diseño se debe realizar a partir del nivel de control más relevante que se quiera generar, bien sea para favorecer la calidad de agua o para reducir la escorrentía generada en el área aferente. Adicionalmente, se deben considerar aspectos como el espacio disponible, la magnitud del evento de diseño, el alcance del proyecto y los requerimientos específicos de reducción de escorrentía en la zona.

El volumen de calidad (V_c) se estima a partir de las áreas tributarias (A_d), los coeficientes de escorrentía (C), y la profundidad de la lámina de lluvia (h_p) propia del sitio a intervenir (ver sección 4.3). Por otro lado, el volumen de control de inundaciones (V_i) se determina a partir de un caudal para un periodo de retorno específico, mediante el uso de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF. Esta información se puede obtener mediante la Empresa de Acueducto, quién posee la información de las curvas de IDF en cualquier punto de la Ciudad. Por su parte, el volumen de control de inundaciones se define de acuerdo con el nivel de protección que se desee alcanzar.

Luego de esto, por términos de seguridad, se define el volumen de diseño (V_{ds}) como el volumen seleccionado entre V_c y V_i multiplicado por un factor de seguridad. Este factor debe ser definido según las condiciones de la cuenca, principalmente si se espera que la escorrentía tenga altas concentraciones de sedimentos o si la cuenca cuenta con pretratamiento que pueda reducir este contaminante. No obstante, en la presente norma técnica se establece un factor de 1.2, el cual

incrementa en un 20% el volumen. Este incremento corresponde al volumen que puede ocuparse por acumulación de sedimentos.

$$V_{dis} = \begin{cases} V_c \cdot 1.2 \\ 0 \\ V_i \cdot 1.2 \end{cases}$$

Dónde: V_{dis} = Volumen de diseño, V_c = Volumen de calidad y V_i = Volumen de control de inundaciones.

Luego, se debe seleccionar el tiempo de drenaje (T_d) de la estructura. En caso de diseñarse mediante volumen de calidad (V_c) se debe establecer un tiempo máximo de drenaje de 24 horas y, en caso de diseñarse con el volumen de inundación (V_i), un tiempo máximo de 48 horas.

A partir del volumen de diseño (V_{dis}) es posible determinar las dimensiones generales de esta tipología. Esto se realiza teniendo en cuenta una geometría prismática de área rectangular con pendiente lateral (Z), el área disponible en el área a intervenir (A_s), y la profundidad (d_{to}) y la razón largo-ancho superior (L/W) que el diseñador considere conveniente. Las ecuaciones relacionadas con el este dimensionamiento se presentan a continuación.

$$W_s = \sqrt[2]{\frac{A_s}{R_{L/W}}}$$

$$L_s = \frac{A_s}{W_s}$$

$$W_f = W_s - 2 \cdot Z \cdot d_{to}$$

$$L_f = L_s - 2 \cdot Z \cdot d_{to}$$

$$A_f = W_f \cdot L_f$$

Donde $R_{L/W}$ = Relación largo/ancho (m largo / m ancho), A_s = Área superficial disponible para la cuenca (m²), L_s = Longitud superficial de la cuenca (m), W_s = Ancho superficial de la cuenca (m), L_f = Longitud del fondo de la cuenca (m), W_f = Ancho del fondo de la cuenca (m), z = Pendiente lateral, d_{to} = Profundidad de la cuenca (m) y A_f = Área de fondo de la cuenca (m²).

La cuenca debe ser lo más larga posible, ya que esto permite la reducción de cortocircuitos en el flujo y mejora la eficiencia en la reducción de Sólidos Suspendidos Totales (SST). Por otro lado, el límite de la pendiente lateral se define para asegurar la accesibilidad del equipo convencional de mantenimiento, y el establecimiento de parámetros adecuados de seguridad y estética de la estructura.

Una vez se calculada la geometría de la cuenca, se debe determinar el volumen (V) que ocuparía el agua en el diseño obtenido. Luego, se verifica que éste sea menor o igual al volumen de diseño (V_{dis}) calculado bajo las aproximaciones de volumen de calidad (V_c) o volumen de control de inundaciones (V_i), según corresponda. Si esta condición no se cumple, se deben verificar las variables iniciales del proceso de cálculo, hasta satisfacer este requerimiento.

$$V = \frac{A_f + A_s}{2} \cdot d_{to}$$

Donde V = Volumen de almacenamiento (m³), A_s = Área superficial disponible para la cuenca (m²), d_{to} = Profundidad de la cuenca (m) y A_f = Área de fondo de la cuenca (m²).

Ahora bien, para el diseño de esta tipología es necesario realizar de manera previa diferentes ensayos de infiltración en el área disponible a intervenir, con el fin de conocer el potencial que tiene el suelo para permear la escorrentía almacenada en la cuenca durante eventos de precipitación. Así pues, si el diseñador considera que las tasas de infiltración son significativamente altas en el sitio a intervenir, de acuerdo con los resultados de los ensayos, resulta necesario realizar una corrección

al volumen de almacenamiento (V) obtenido previamente, considerando de este modo las pérdidas de agua por infiltración en la estructura.

Para realizar esta corrección es necesario determinar el volumen infiltrado (V_{inf}), el cual requiere el valor asociado al caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años (o al caudal correspondiente al máximo evento de diseño). Con este valor y los resultados de las variables anteriormente calculadas (A_s , A_f y d_{to}) se determina un volumen auxiliar corregido de almacenamiento (V_{cor}). Luego, se define un área transversal húmeda (A_w) a partir de la cual se establece la velocidad del flujo (v_f) y el tiempo de tránsito (T_t). Este valor se emplea para calcular el volumen infiltrado (V_{inf}). Las ecuaciones relacionadas se presentan a continuación:

$$V_{cor} = \left(\frac{A_s + A_f}{2} \right) \cdot d_{to}$$

$$A_w = (W_f + Z \cdot d_{to}) \cdot d_{to}$$

$$v_f = \frac{Q_{p_{10años}}}{A_w}$$

$$T_t = \frac{L_s}{v_f} \cdot \frac{h}{3600 \text{ s}}$$

$$V_{inf} = T_t \cdot \frac{f}{2} \cdot A_f \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

Donde V_{cor} = Volumen de almacenamiento corregido por infiltración (m^3), A_s = Área superficial disponible para la cuenca (m^2), d_{to} = Profundidad de la cuenca (m) y A_f = Área de fondo de la cuenca (m^2), A_w = Área transversal (m^2), W_f = Ancho del fondo de la cuenca (m), Z = Pendiente Lateral ($Z:1$), d_{to} = Profundidad de la cuenca (m), v_f = Velocidad del agua en la cuenca (m/s), $Q_{p_{10años}}$ = Caudal pico con un periodo de retorno de 10 años (m^3/s), T_t = Tiempo de tránsito (h), L_s = Longitud superficial de la cuenca (m), V_{inf} = Volumen infiltrado (m^3/s) y f = Tasa de infiltración (mm/h).

Posteriormente, se define un volumen objetivo (V_{obj}), el cual corresponde a la diferencia entre el volumen corregido (V_{cor}) y el volumen infiltrado (V_{inf}) obtenido. Para luego calcular el error asociado a esta diferencia y realizar un proceso iterativo, cambiando la variable (A_s) y recalculando todas las variables restantes (V_{cor} , A_w , v_f , T_t y V_{inf}) hasta que este error converja a 0 %.

$$V_{obj} = V_{cor} - V_{inf}$$

$$\text{Error} = \left(\frac{V_{cor} - V_{obj}}{V_{cor}} \right) \cdot 100\%$$

Donde V_{obj} = Volumen objetivo (m^3/s), V_{cor} = Volumen de almacenamiento corregido por infiltración (m^3/s), V_{inf} = Volumen infiltrado (m^3/s).

Este proceso iterativo permite determinar, a partir del volumen corregido (V_{cor}), todas las variables geométricas de la cuenca, ajustadas por las pérdidas asociadas a una buena tasa de infiltración en el suelo a intervenir. Finalmente, se debe realizar una última verificación, en la cual el volumen corregido no resulte menor al volumen de calidad (V_c). En caso de que esta verificación no se cumpla, se debe adoptar como volumen de diseño, el volumen de calidad (V_c) o el volumen de control de inundaciones (V_i), según el criterio de selección escogido en el inicio del proceso de cálculo.

El Cuadro 2 presenta los valores de los parámetros de diseño de cuenca seca de drenaje extendido. El diseño final de esta estructura debe cumplir como mínimo estas restricciones. Si alguno de estos

parámetros no se cumple, el diseñador debe justificar de manera clara los métodos y aproximaciones empleadas para garantizar el adecuado desempeño hidráulico y de tratamiento de la cuenca seca de drenaje extendido.

Cuadro 2. Parámetros de diseño de cuenca seca de drenaje extendido

Estructura	Parámetro	Valor	Unidades
Cuenca seca de drenaje extendido	Razón L/W superficial	≥ 2	m/m
	Pendiente lateral máxima (Z)	≥ 3	m/m
	Pendiente longitudinal del fondo (S_f)	1	%
	Pendiente transversal del fondo (S_{tf})	1	%
	Profundidad de diseño (d_{10})	$> 0.25 ; < 3$	m
	Ancho mínimo de fondo (W_f)	45	m
	Tiempo de drenaje (T_d)	24 – 48	h
	Pendiente de canal de caudales bajos (S_{ca})	0.0004 – 0.01	m/m

4.5.2.6 Cobertura vegetal asociada

Generalmente para esta tipología sólo se considera cobertura vegetal asociada a pastos. No obstante, vegetación adicional puede mejorar la apariencia de la cuenca, estabilizar las pendientes laterales, prevenir erosión y disminuir la velocidad del flujo de agua, permitiendo una mejor sedimentación. En esta tipología no se recomienda implementar cercas o encerramientos, dado que esto disminuye la posibilidad de recreación por parte de la comunidad y la calidad paisajística del sistema. Para adecuar taludes y evitar la formación de mini cárcavas, se deben hacer surcos que sean perpendiculares a la pendiente de la ladera. El listado específico de especies vegetadas aplicables al diseño de esta tipología puede encontrarse en el documento Anexo B.

4.5.2.7 Materiales

(a) Estructuras de entrada

A la entrada de la estructura se debe contar con una antecámara que permite cierto grado de sedimentación antes de entrar a la zona de inundación. Esta antecámara debe tener un fondo firme, usualmente de concreto, que permita la remoción del sedimento acumulado. También se pueden usar rocas cementadas, y en cualquier configuración se necesita de una berma de roca o concreto aguas abajo de la antecámara que sirva de protección cuando ésta se sobrecarga.

(a) Canal de caudales bajos

El canal de caudales bajos, que conduce los flujos bajos a la micropiscina, puede tener dos tipos de superficie: base de concreto y base suave (terreno con césped). Para ambos casos, se debe definir la pendiente del canal entre 0.004 m/m y 0.01 m/m para promover la sedimentación de partículas y a la vez facilitar el acceso para su adecuado mantenimiento.

El canal de concreto ayuda a estabilizar el fondo de la cuenca a largo plazo y puede facilitar la remoción regular de sedimentos. Puede ser en forma de V, o de canal con bordes; sin embargo, un canal de fondo plano facilita el mantenimiento. Por otro lado, los canales de fondos suaves diseñados y mantenidos apropiadamente pueden ser una gran alternativa al concreto. No obstante, debe prestarse mayor atención al canal cuando es de tipo suave-natural. Si bien puede mejorar el tratamiento del agua, éste requiere mayores actividades de mantenimiento correspondientes a remoción mecánica de sedimentos y plantas. Adicionalmente, este tipo de canales puede promover la proliferación de mosquitos en caso de presentarse estancamiento de agua.

(b) Micropiscina

Antes de la estructura de salida se instala una micropiscina que ayuda a reducir zonas húmedas poco profundas, que son favorables para mosquitos. El fondo de esta estructura deberá ser de concreto a menos que se anticipe un caudal base. Este fondo permite la sedimentación y mejora la

calidad del agua a la salida. Otra opción de fondo de la micropiscina es una capa de arena de al menos 45 cm bajo la cual se instale una tubería perforada rodeada por al menos 25 cm de grava, que permita la filtración del agua antes de permitir la salida (ver sección 4.6.5.2).

(c) Estructura de salida

La estructura de salida más utilizada es una placa perforada de acero inoxidable de 0.6 cm de grosor. Una malla del mismo material instalada antes de la placa perforada reduce el riesgo de obstrucción de la misma. Con respecto a la estructura de desborde se aconseja también el uso de una rejilla que sirva de acceso para el futuro mantenimiento (ver sección 4.6.4).

(d) Tubería

La tubería de drenaje debe ser de cloruro de polivinilo (PVC) o de polietileno de alta densidad (HDPE). Debe evitarse el uso de madera tratada y metales galvanizados. Se recomienda que la tubería de salida esté reforzada con concreto y esté equipada con juntas de caucho (ver sección 4.6.4).

4.5.3 Cunetas verdes

4.5.3.1 Diseño

Las cunetas verdes consisten en depresiones longitudinales en el terreno, de sección triangular o trapezoidal, que permiten la concentración y conducción de la escorrentía, favoreciendo a su vez la infiltración natural de ésta en el suelo circundante. Adicionalmente, esta estructura puede reducir la velocidad con la cual se descarga la escorrentía a los cuerpos receptores en comparación con los sistemas de drenaje convencional. Suelen emplearse en conjunto con franjas de césped a ambos costados longitudinales, para direccionar el flujo de la escorrentía superficial hacia la cuneta. Esta tipología es la más adecuada en relación con el transporte de escorrentía de un lugar a otro.

Generalmente, las cunetas verdes cuentan con una tubería de entrada que permite el ingreso del agua a la estructura y un dissipador de energía para evitar la erosión del suelo a la entrada de la misma. Adicionalmente, poseen un distribuidor de flujo y barreras de detención en grava, cemento u otros materiales (opcional), las cuales reducen la velocidad del flujo y promueven la remoción de sólidos suspendidos. Información adicional y en mayor detalle del diseño de cunetas verdes pueden encontrarse en el Anexo B.

4.5.3.2. Operación

El agua de escorrentía ingresa a esta estructura de manera directa durante eventos de precipitación, o de forma indirecta, a través de estructuras anexas que capten el volumen de escorrentía y lo descarguen en este sistema. En caso de que se requiera, es posible acoplar de manera previa alguna estructura de pre-tratamiento (ver sección 4.6.1), para reducir la carga de contaminación que ingresa a esta tipología. Una vez el flujo de escorrentía ingresa a la cuneta, éste se irá concentrando y transportando en la sección triangular o trapezoidal, a medida que el evento transcurre, favoreciendo así la infiltración del agua en el suelo circundante y la remoción de contaminantes debido a la interacción del agua con la cobertura vegetal asociada a esta tipología.

Si en el sitio a intervenir es necesario restringir o eliminar la infiltración de escorrentía, se deben emplear capas de geomembranas en la parte baja de la estructura, con el fin de reducir la permeabilidad de la cuneta.

4.5.3.3 Criterios de localización

Dado que para este tipo de estructuras se requiere un área longitudinal considerable, su localización se prefiere en zonas de espacio público como separadores viales, entre avenidas o al costado de éstas. En áreas de nuevos desarrollos su implementación debe considerarse desde la planeación misma del proyecto, puesto que este tipo de estructuras requieren de áreas verdes de un ancho mínimo y una longitud considerable para su adecuada construcción, operación y mantenimiento.

4.5.3.4 Restricciones

Las restricciones técnicas generales de implementación de cunetas verdes en un sitio particular se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Restricciones del sitio para la implementación de cunetas verdes

Restricciones	Valor	Unidades
Pendiente longitudinal	> 1 ; < 10	%
Distancia al nivel freático	> 1.5	m
Tasa de infiltración del suelo	> 13	mm/h
Distancia a cimientos	> 4	m

4.5.3.5 Predimensionamiento

El proceso de diseño de cunetas verdes (ver Figura 3) se compone de una serie de etapas de cálculo y comprobación, cuyo objetivo principal es maximizar el tiempo de residencia hidráulico en la estructura, para aumentar la eficiencia de remoción de contaminantes de la misma.

En primer lugar, se debe determinar el caudal de diseño para un periodo de retorno específico. Para esta tipología de conducción, el periodo de retorno de diseño es de 3 o 5 años, de acuerdo con la norma de la EAB-ESP ["NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado"](#).

A partir de las condiciones propias del sitio a intervenir se deben determinar: coeficientes de escorrentía (C), áreas de drenaje aportantes a esta estructura (A), y parámetros hidrológicos de intensidad (I) y duración (D), a partir de las curvas vigentes de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) disponibles en la EAB-ESP. El caudal de diseño de esta estructura se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$(Q_d)_{3 \text{ o } 5 \text{ años}} = \left(\sum_{j=1}^n A_j \cdot C_j \right) \cdot I$$

Dónde: $(Q_d)_{3 \text{ o } 5 \text{ años}}$ = Caudal de diseño para un periodo de retorno de 3 o 5 años (m^3/s), A = Área de drenaje (m^2), C = Coeficiente de escorrentía (adimensional) y I = Intensidad de la lluvia para el periodo de retorno seleccionado (mm/h).

Luego de esto, a partir del área disponible y de las características del sitio a intervenir, se debe establecer la longitud de la cuneta (L), la pendiente disponible en el terreno (S_p), la pendiente de diseño de la cuneta (S), el coeficiente de Manning (n), la pendiente lateral del canal Z:1 (Z) y el ancho de fondo de la cuneta (W_f). Bajas pendientes longitudinales permiten conducir el flujo de agua de una forma lenta, favoreciendo procesos de sedimentación y filtración, limitando a su vez, la erosión del suelo.

A partir de estos valores iniciales, se procede a realizar una serie de comprobaciones e iteraciones, con el objetivo comprobar que el caudal calculado para el periodo de retorno seleccionado $(Q_d)_{3 \text{ o } 5 \text{ años}}$ resulte equivalente al caudal estimado con la ecuación de Manning (Q_m). Esto por medio de la iteración del valor de la profundidad de flujo (d). A continuación, se presentan las ecuaciones relacionadas:

$$(Q_d)_{3 \text{ o } 5 \text{ años}} = Q_m$$

$$Q_m = \frac{1}{n} \cdot A_w \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_m = \frac{1}{n} \cdot \frac{(d \cdot W_f + Z \cdot d^2)^{\frac{5}{3}}}{\left(W_f + 2 \cdot d \cdot (1 + Z^2)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{2}{3}}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde $(Q_d)_{3 \text{ o } 5 \text{ años}}$ = Caudal de diseño para un periodo de retorno de 3 o 5 años (m^3/s), Q_m = Caudal determinado a partir de Manning (m^3/s), n = n de Manning (adimensional), A_w = Área de flujo (m^2), R_H = Radio hidráulico (m), d = Profundidad de flujo para un periodo de retorno de 3 o 5 años (m), W_f = Ancho de fondo de la cuneta (m), Z = Pendiente lateral del canal Z:1 (adimensional), S = Pendiente de diseño de la cuneta (m/m).

Una vez se determina la profundidad de flujo (d); y en consecuencia el área de flujo (A_w), se puede determinar la velocidad de diseño (v_f) y el tiempo de residencia hidráulico (T_{rs}). Altas velocidades de diseño afectarán el tratamiento de la escorrentía, por lo cual, se busca que los valores de esta variable sean bajos ($< 0.5 \text{ m/s}$). Por otra parte, tiempos de residencia hidráulicos altos promueven el tratamiento del agua de escorrentía en las cunetas verdes, y por lo tanto incrementan la calidad del agua transportada. A continuación, se presentan las ecuaciones respectivas:

$$v_f = \frac{(Q_d)_{3 \text{ o } 5 \text{ años}}}{A_w}$$

Donde $(Q_d)_{3 \text{ o } 5 \text{ años}}$ = Caudal de diseño para un periodo de retorno de 3 o 5 años (m^3/s), v_f = velocidad de diseño (m/s) y A_w = Área de flujo (m^2).

$$T_{rs} = \frac{L}{v_f}$$

Donde T_{rs} = Tiempo de residencia (h), L = Longitud de la cuneta (m) y v_f = velocidad de diseño (m/s).

Luego, se debe estimar el ancho superior de la cuneta (W_{sd}) y corroborar que el número de Froude sea menor a 0.5. En caso contrario, se deben reevaluar los valores de las variables establecidas al inicio del proceso de cálculo, para cumplir con esta condición. A continuación, se presentan las ecuaciones respectivas:

$$W_{sd} = (W_f + 2 \cdot d \cdot Z)$$

Donde W_{sd} = Ancho superior de la cuneta (m), W_f = Ancho de fondo de la cuneta (m), d = profundidad de flujo (m) y Z = Pendiente lateral del canal Z:1 (adimensional).

$$F = \frac{v_f}{\left(g \cdot \frac{A_w}{W_{sd}}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde F = Número de Froude (adimensional), v_f = Velocidad de diseño (m/s), g = Gravedad (m/s^2), A_w = Área de flujo (m^2), W_{sd} = Ancho superior de la cuneta (m).

Con el fin de garantizar el control de drenaje sin que se presenten inundaciones en la cuneta debido a eventos extremos de precipitación, se recomienda estimar el borde libre requerido. Para ello se sugiere determinar nuevamente, a partir de las curvas vigentes de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) disponibles en la EAB-ESP, el caudal de diseño, pero esta vez para un periodo de retorno de 10 años $(Q_d)_{10 \text{ años}}$.

Una vez se determina el caudal de diseño para eventos extremos de precipitación, se procede a estimar la profundidad de flujo para este periodo de retorno (d_{eextr}), iterando este valor en la ecuación de Manning, de la misma manera como se estimó la profundidad de flujo (d) de la cuneta (ver procedimiento de cálculo para la variable d). A partir de esto se encuentra la profundidad mínima de la cuneta (d_{lo}) y el borde libre recomendado, el cual se determina como el valor máximo entre dos expresiones, cuyas ecuaciones se presentan a continuación:

$$d_L = \text{Max}(d_{eextr} - d ; 0.5 - 0.3048)$$

Donde d_L = Borde libre (m), d_{ext} = Profundidad de flujo para un periodo de retorno de 10 años (m).

$$d_{to} = d + d_L$$

Donde d_{to} = Profundidad mínima de la cuneta (m), d = Profundidad de diseño para un periodo de retorno de 3 o 5 años (m) y d_L = Borde libre (m).

Finalmente, se calcula nuevamente el ancho superior de la cuneta, considerando ahora el valor del borde libre de la estructura, como se presenta a continuación:

$$W_s = W_f + 2 \cdot d_{to} \cdot Z$$

Donde W_s = Ancho superior de la cuneta para profundidad mínima considerando borde libre (m), W_f = Ancho de fondo de la cuneta (m), d_{to} = Profundidad mínima de la cuneta (m) y Z = Pendiente lateral del canal Z:1 (adimensional).

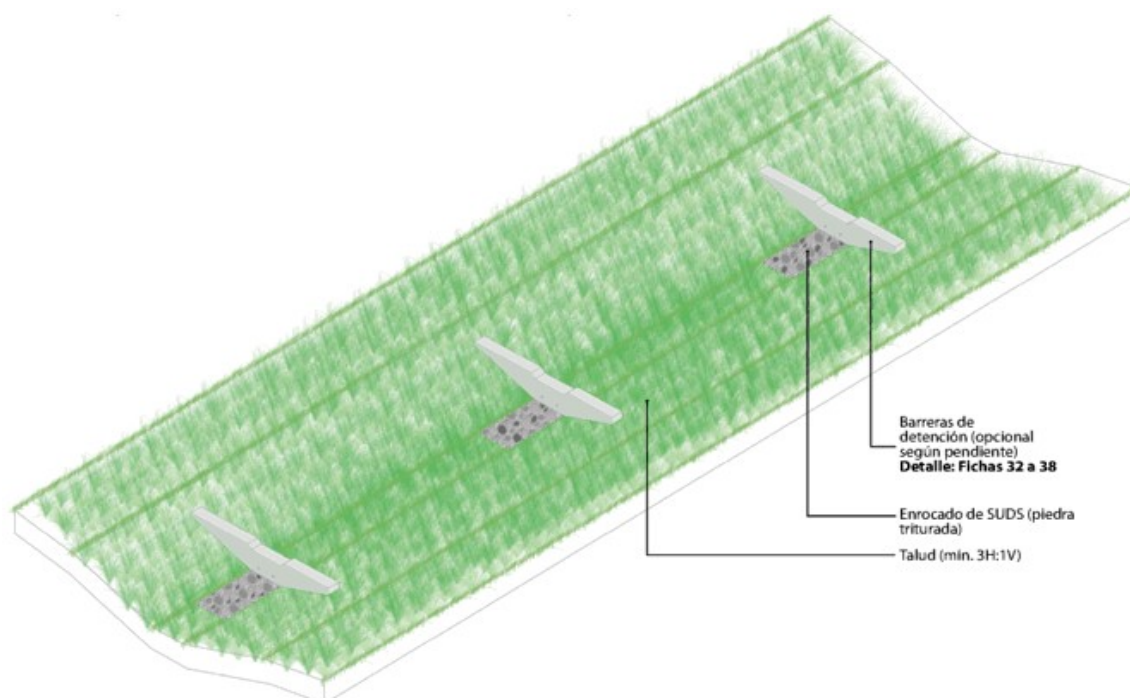


Figura 3. Esquema de referencia cuneta verde

En los sitios en donde se necesite establecer una cobertura vegetal particular y/o se requiera incluir un compartimiento adicional para el almacenamiento temporal de escorrentía, se debe incorporar en el fondo superficial de la cuneta una capa de suelo o sustrato con una profundidad mínima de 45 cm. Bajo el sustrato se debe añadir una capa de drenaje, la cual contenga una tubería perforada que favorezca la descarga de los excesos de agua almacenada (ver sección 4.6.5.1).

Para añadir estabilidad al fondo de la cuneta, es necesario recubrir el fondo de ésta con un geotextil no tejido, el cual permita la infiltración del agua y a su vez posibilite diferenciar el suelo propio de la estructura para futuras labores de seguimiento y monitoreo. En caso de que se requiera restringir o evitar la infiltración, se debe incorporar en la parte más baja de la estructura una geomembrana en vez de un geotextil, de modo que todo el volumen de exceso de escorrentía sea evacuado por la tubería perforada y no a través del suelo circundante.

El Cuadro 3 presenta los valores de los parámetros de diseño de cunetas verdes. El diseño final de la cuneta debe cumplir como mínimo estas restricciones. Si alguno de estos parámetros no se cumple, el diseñador debe justificar de manera clara los métodos y aproximaciones empleadas para garantizar el adecuado desempeño hidráulico y de tratamiento de la cuneta verde. Especificaciones puntuales de diseño pueden ser consultadas en el Anexo B.

Cuadro 3. Parámetros de diseño de cunetas verdes

Estructura	Parámetros	Valor	Unidades
Cuneta verde	Pendiente lateral del canal Z:1	> 3:1	Relación H:V
	Pendiente de diseño (S)	> 0.01	m/m
	Velocidad de diseño (V_f)	< 0.5	m/s
	Profundidad de flujo (d)	< 0.3	m
	Ancho de fondo de la cuneta (W_f) (Geometría trapezoidal)	> 0.5	m
	Número de Froude (F)	0.5	Adimensional

4.5.3.6 Cobertura vegetal asociada

Se sugiere que la vegetación en las cunetas verdes sea lo suficientemente robusta como para resistir el flujo de escorrentía de diseño y la carga de contaminación asociada a ésta, durante un largo periodo de tiempo de operación (> 6 meses). En este sentido las plantas empleadas deben presentar una cobertura densa y con suficiente enraizamiento para resistir procesos erosivos. Así mismo, la cobertura vegetal utilizada debe favorecer la reducción de la velocidad del agua durante su conducción y, por lo tanto, aumentar el tiempo de residencia hidráulico de la escorrentía. De esta manera se favorece la infiltración del agua (cuando sea posible) y la filtración de los sedimentos y/o contaminantes del agua.

En relación con el componente paisajístico, para esta tipología es posible introducir pastos foráneos y/o especies de flores que favorezcan la apariencia del área intervenida. En ese caso, se sugiere emplear especies nativas de las áreas cercanas al sitio a intervenir, para así garantizar una cobertura densa de vegetación, de rápida adaptación y con un tiempo de vida extenso. Se deben evitar siembras profundas, con el fin de facilitar la colonización vegetal y de este modo promover que su crecimiento y desarrollo sea lo más natural posible. Así mismo, para adecuar taludes y evitar la formación de mini cárcavas, se deben hacer surcos que sean perpendiculares a la pendiente de la ladera. El listado específico de especies vegetadas aplicables al diseño de esta tipología puede encontrarse en el Anexo B.

4.5.3.7 Materiales

(a) Capa superficial

La capa superficial debe contener en su área de siembra cobertura vegetal, preferiblemente nativa, compuesta por gramíneas herbáceas anuales y perennes de floración anual. En caso de que las tasas de erosión sean muy altas, es posible utilizar recubrimientos especiales o geotextiles. El uso de metal galvanizado, madera y materiales que liberen químicos por erosión se deben evitar en toda la estructura de la cuneta. La altura de la cobertura vegetal debe estar entre 10 a 15 cm, y en caso contrario se debe evaluar si es necesario incluir especies con un mejor crecimiento o por el contrario realizar labores de poda y mantenimiento de esta cobertura.

(b) Capa de drenaje

En caso de ser necesaria la capa de drenaje se compone de una capa de grava mínimo de 20 cm de profundidad para proporcionar almacenamiento temporal del volumen de agua que posteriormente ingresa a la tubería perforada (ver sección 4.6.5.1).

(c) Estructuras anexas

Algunas estructuras anexas como divisores de caudal deben ser construidos en un material firme; usualmente fabricados en concreto, plástico reciclado o bancos de suelo compactado. Por otro lado, si se requiere de barreras de detención, éstas se pueden construir con agregado grueso (100 mm - 600 mm), tablas de madera, gaviones o tierra mientras protejan adecuadamente la cuneta contra la erosión.

4.5.4 Tanques de almacenamiento

4.5.4.1 Diseño

Los tanques de almacenamiento son estructuras rígidas de forma de prismática, que tiene la capacidad de almacenar el volumen de escorrentía generado luego de un evento de lluvia, para luego utilizarlo en usos de agua no potables o descargarlo de manera controlada al sistema de alcantarillado convencional. Si se realiza un aprovechamiento del agua almacenada en usos no potables, es necesario verificar que la calidad del agua almacenada en el tanque cumpla con los lineamientos que establezca la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) de la ciudad de Bogotá D.C.

El diseño de esta tipología es flexible y puede adaptarse fácilmente a las condiciones del sitio de implementación, en comparación con otras estructuras de drenaje. Dado que esta tipología no cuenta con ningún tipo de lecho filtrante o mecanismo interno que mejore la calidad del agua. El diseño de este SUDS requiere de estructuras de pre-tratamiento (dispositivos de primer lavado y/o rejillas) que reduzcan la carga contaminante del volumen de agua almacenado y prolonguen la frecuencia de operación y mantenimiento de esta tipología. Información adicional y en mayor detalle del diseño de tanques de almacenamiento pueden encontrarse en el Anexo B.

4.5.4.2 Operación

La escorrentía ingresa a esta tipología de forma directa a partir de sistemas de captación y/o conducción puntual (techos, cubiertas y canaletas), o de indirectamente por medio de sistemas de drenaje convencionales (alcantarillas y sumideros). En primer lugar, el flujo de agua atraviesa las diferentes estructuras anexas de pretratamiento (ver sección 4.6.1) o el mecanismo de primer lavado seleccionado, y luego se almacena al interior de la estructura. La evacuación del agua acumulada dependerá de la demanda de agua del usuario o de la operación asignada por el diseñador.

4.5.4.3 Criterios de localización

Esta tipología cuenta con pocas restricciones en cuanto su localización. Los tanques de almacenamiento se pueden ubicar de manera superficial o subterránea, dependiendo del objetivo de su implementación (aprovechamiento de escorrentía o atenuación de volumen/pico de escorrentía), así como también del área superficial y de las características propias del sitio a intervenir. Para usos privados, esta tipología suele localizarse superficialmente y contigua a las construcciones, para facilitar su almacenamiento y posterior aprovechamiento. En espacio público, suelen localizarse de manera subterránea e interconectada con otra tipología de SUDS o con el sistema de drenaje convencional, para amortiguar así volúmenes de escorrentía urbana.

4.5.4.4 Restricciones

Las restricciones técnicas generales de implementación de esta estructura en un sitio particular se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Restricciones del sitio para la implementación de tanques de almacenamiento

Restricciones	Límites	Unidades
Pendiente	> 1	%
Distancia al nivel freático	> 2	m

4.5.4.5 Predimensionamiento

El proceso de diseño de tanques de almacenamiento requiere de una serie de etapas de cálculo que involucran parámetros de oferta y demanda de escorrentía. En primer lugar, el diseñador debe obtener registros históricos de información pluviométrica del área a intervenir, para asignar a cada mes un valor promedio mensual multianual de lluvia. Esta norma técnica propone un análisis de variabilidad a escala mensual, no obstante, si el diseñador cuenta con información con una resolución más pequeña (diaria u horaria), es posible que el diseño llegue a resultados más precisos.

Si no se cuenta con información de una estación de lluvia en el terreno de implementación o la información disponible es insuficiente, se debe optar por analizar los registros de lluvia de la estación

pluviométrica más cercana al punto de interés. Adicionalmente, se debe establecer el valor de área de drenaje (A_d) y un coeficiente de escorrentía (C) de la superficie de captación. Los coeficientes de escorrentía se deben asignar de acuerdo con la norma del Acueducto Bogotá ["NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado"](#). De este modo es posible calcular el volumen promedio de escorrentía que se generaría en cada mes del año como se presenta a continuación:

$$E_{sc} = \frac{P \cdot A_d \cdot C}{1000}$$

Donde E_{sc} = Volumen promedio mensual escorrentía (m^3), P = Precipitación promedio mensual multianual (mm) y A_d = Área de drenaje (m^2).

Luego de estimar la serie de volúmenes mensuales promedio de escorrentía (E_{sc}), es necesario establecer una demanda promedio mensual (Dem) de agua para usos no potables en el área a intervenir. Esta demanda dependerá del usuario y del tipo de uso que se le asignará al agua almacenada en el tanque. Con estas dos series mensuales de agua, es posible realizar un balance hidrológico de la estructura, definiendo de manera preliminar un volumen inicial del tanque (V), el mes de inicio para el análisis y un volumen remanente inicial (V_r) igual a 0. Es decir que para realizar este proceso de cálculo se identifica el mes más húmedo y se asume que al inicio de éste el tanque se encuentra vacío.

De este modo se determina mes a mes el volumen de descarga de excesos (Q_{ex}) y el volumen remanente de escorrentía al final de cada mes particular (V_r). Verificando en cada mes si el volumen propuesto del tanque es suficiente para satisfacer la demanda de agua para uso no potable del área a intervenir o si es necesario ajustar sus dimensiones. Las ecuaciones relacionadas se presentan a continuación:

$$V_{ex} = (E_{sc} - Dem) + V_r - V$$

$$V_r = V_{r-1} + (E_{sc} - Dem) - V_{ex}$$

Donde V_{ex} = Descarga de excesos (m^3), E_{sc} = Volumen promedio mensual de escorrentía (m^3), Dem = Demanda promedio mensual de agua para usos no potables (m^3), V_r = Volumen de agua remanente al final del mes (m^3), V = Volumen del tanque y V_{r-1} = Volumen de agua remanente al final del mes anterior (m^3).

En caso de que el volumen del tanque (V) con el cual se cumplan las restricciones mencionadas sea igual a cero, se debe replantear el dimensionamiento realizado. Si en el área de interés hay evidencia de valores de demanda muy bajos, el volumen del tanque deberá ser igual a la demanda de agua promedio obtenida. Adicionalmente, se debe garantizar que en el diseño la oferta sea siempre superior (o igual) a la demanda, para evitar así problemas de abastecimiento de agua. Si durante el dimensionamiento esta condición no se cumple, se recomienda ubicar una fuente alterna de agua para proporcionar este abastecimiento restante o realizar un nuevo proceso de dimensionamiento a partir de distintos parámetros iniciales. Por ejemplo, considerando únicamente una fracción de la demanda que sí pueda ser suplida. La Figura 4 presenta un esquema de referencia de esta tipología, especificaciones puntuales de diseño pueden ser consultadas en el Anexo B.

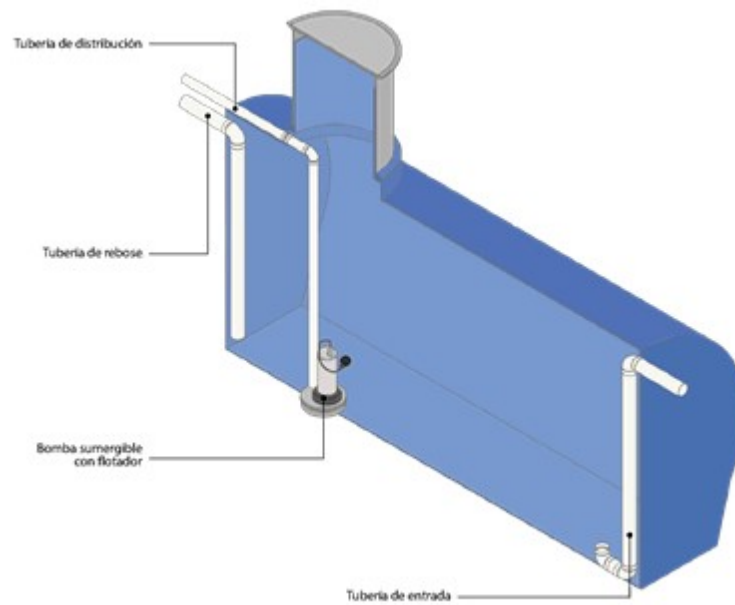


Figura 4. Esquema de referencia tanque de almacenamiento

4.5.4.6 Materiales

El material del depósito de almacenamiento debe ser estructuralmente sólido e impermeable. Los tanques superficiales suelen ser plásticos, al igual que los tanques subterráneos. Estos últimos también pueden ser contruidos en concreto y rellenos con geoceldas. Todos los depósitos deben sellarse mediante el uso de un impermeabilizante no tóxico. Sin importar el material, es fundamental que éste sea opaco para prevenir el crecimiento de algas. En caso de que se requiera adaptar contenedores que hayan sido usados previamente, éstos deben estar completamente limpios y ser aptos para el almacenamiento de agua potable o productos alimenticios.

Los materiales recomendados para las bajantes y canaletas son cloruro de polivinilo (PVC), vinilo, aluminio y acero galvanizado. No se aconseja el uso de soldaduras con plomo, ya que el flujo de agua lluvia puede disolverlo con el tiempo, causando la contaminación del agua almacenada.

4.5.5 Pavimentos permeables

4.5.5.1 Diseño

Los pavimentos permeables son estructuras alternativas a las superficies asfálticas convencionales, su función principal es drenar hacia el subsuelo el agua de escorrentía que se concentre en su superficie luego de un evento de lluvia. El sistema está compuesto por cuatro capas: la primera es la capa superficial o de rodadura (C_p), la cual puede presentar diferentes variaciones en cuanto a sus materiales. Esta capa puede estar conformada por una mezcla asfáltica permeable, adoquines entrelazados, adoquines de rejillas de concreto, concreto hidráulico permeable o grava porosa. 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.

En segundo lugar, se encuentra una capa de nivelación compuesta generalmente por una capa de arena (C_s) y un material permeable opcional (C_{ss}), cuya función es estabilizar la capa superior. La tercera capa corresponde a la sub-base o reservorio (d_{cr}), compuesta por un material granular a través del cual se detiene el volumen de escorrentía. Por último, se utiliza una capa filtrante (C_f) que contiene un relleno (arena o piedra triturada), por medio de la cual se infiltra el agua que atraviesa las capas superiores.

Si existen restricciones de infiltración en el área a intervenir, se debe incluir en la capa filtrante una capa adicional de drenaje, en la cual se ubicará el sistema de drenaje de la estructura. En casos particulares es posible incluir un mayor número de capas a esta tipología, para incrementar así su resistencia y/o capacidad de detención de volumen de agua. Información adicional y en mayor detalle del diseño de pavimentos permeables pueden encontrarse en el Anexo B.

4.5.5.2 Operación

La escorrentía que ingresa al sistema se infiltra por medio de la capa superior. En caso de que se requiera, es posible acoplar de manera previa alguna estructura de pre-tratamiento (ver sección 4.6.1), para reducir la carga de contaminación que ingresa a esta tipología. Una vez el agua ingresa al pavimento, ésta se detiene temporalmente en el reservorio, el cual puede estar compuesto por geoceldas u otros materiales (ver sección 4.5.5.6), con el objetivo de reducir el pico de escorrentía. Una fracción del volumen de agua se infiltra al subsuelo (si se desea) reduciendo el volumen almacenado. El volumen de escorrentía que no se infiltra al subsuelo se puede descargar al sistema de drenaje convencional o a otra tipología de SUDS, si ésta se encuentra conformando un tren de tratamiento.

4.5.5.3 Criterios de localización

Este tipo de pavimento es más sensible frente al peso del tráfico que puede soportar, en comparación con los pavimentos convencionales. Por lo tanto, su implementación no se recomienda en avenidas de alto tráfico o en zonas de tráfico pesado. La localización más usual de esta tipología de SUDS es en parqueaderos descubiertos, bahías públicas de estacionamiento y vías con restricción de carga peatonal o vehicular. Para esta tipología es indispensable considerar actividades rutinarias de mantenimiento, puesto que la colmatación con sedimentos y contaminantes es frecuente. En consecuencia, su buen desempeño estará condicionado a un adecuado plan de seguimiento y mantenimiento.

4.5.5.4 Restricciones

Las restricciones generales de implementación de esta tipología en un sitio particular se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Restricciones del sitio para la implementación de pavimentos permeables

Restricciones	Límites	Unidades
Pendiente Longitudinal	$> 0.5 ; < 5$	%
Distancia al nivel freático	> 3	m
Tasa de Infiltración del suelo	> 13	mm/h
Distancia a cimientos	> 6	m

4.5.5.5 Predimensionamiento

El proceso de diseño de pavimentos permeables se compone de una serie de etapas de cálculo y verificación. En primer lugar, a partir del área tributaria (A_d), los coeficientes de escorrentía y la profundidad de la lámina de lluvia (h_p) del sitio de interés (ver sección 4.3), se debe determinar el volumen de calidad (V_c) que deberá tratar el pavimento (ver Figura 5). Luego, es necesario definir el tipo de infiltración que se permitirá en el pavimento. En esta norma técnica se presentan tres posibles escenarios. (1) con infiltración completa, (2) con infiltración parcial y (3) sin infiltración. El tipo de infiltración depende el uso del suelo, la proximidad a estructuras adyacentes y las características propias del terreno a intervenir.

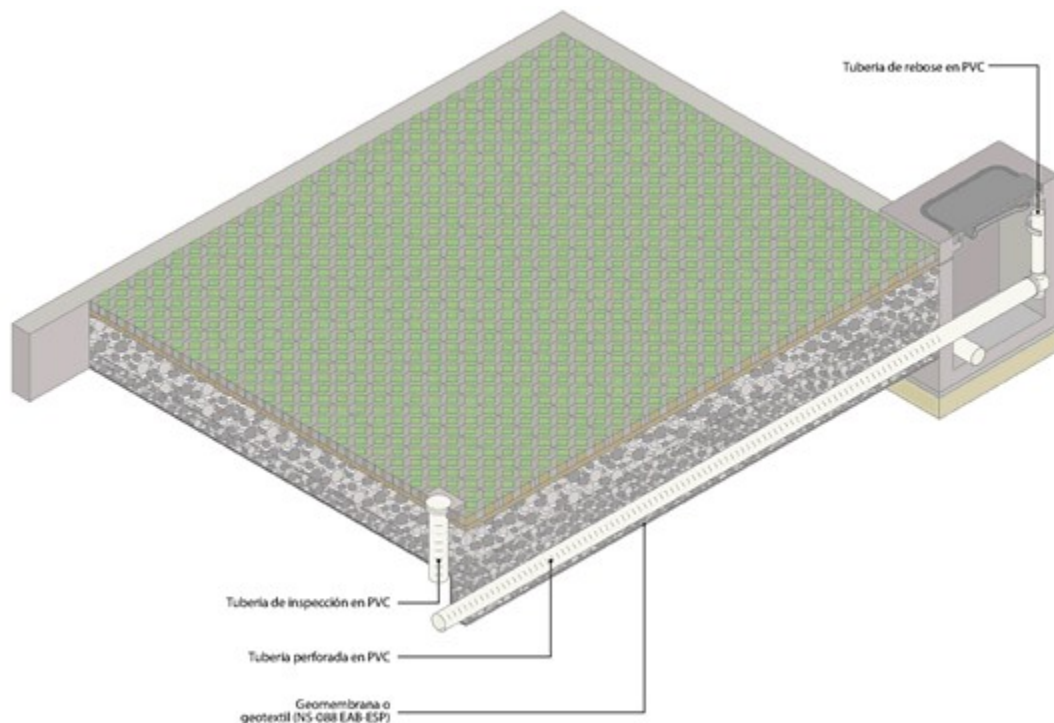


Figura 5. Esquema de referencia pavimentos permeables

De acuerdo con el tipo de infiltración seleccionado, el diseño del pavimento varía. Para pavimentos con infiltración completa (ver Figura 6) no es necesario incluir ningún tipo de tubería perforada en el fondo de la estructura, puesto que el suelo intervenido cuenta con una buena tasa de infiltración y no hay ninguna restricción que impida que el volumen de escorrentía se infiltre en su totalidad en el suelo circundante.

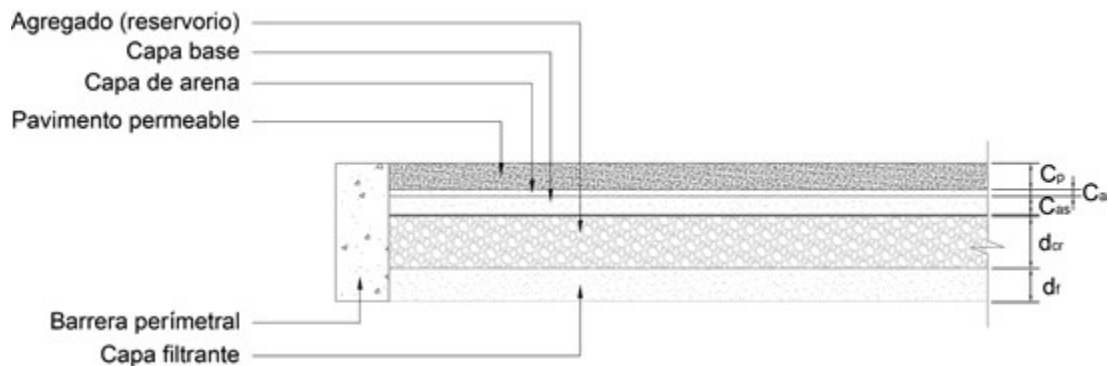


Figura 6. Pavimento permeable con infiltración completa

Por otro lado, para pavimentos con infiltración parcial (ver Figura 7), se debe incluir tuberías perforadas que complementen el sistema de drenaje del volumen de escorrentía almacenado. En caso de que no sea posible incluir prácticas de infiltración en el diseño del pavimento (ver Figura 8), se debe cubrir el fondo de la tipología con una geomembrana que impida cualquier pérdida de agua y, por lo tanto, todo el volumen deberá ser descargado mediante una tubería perforada, ubicada en la capa más profunda del pavimento.

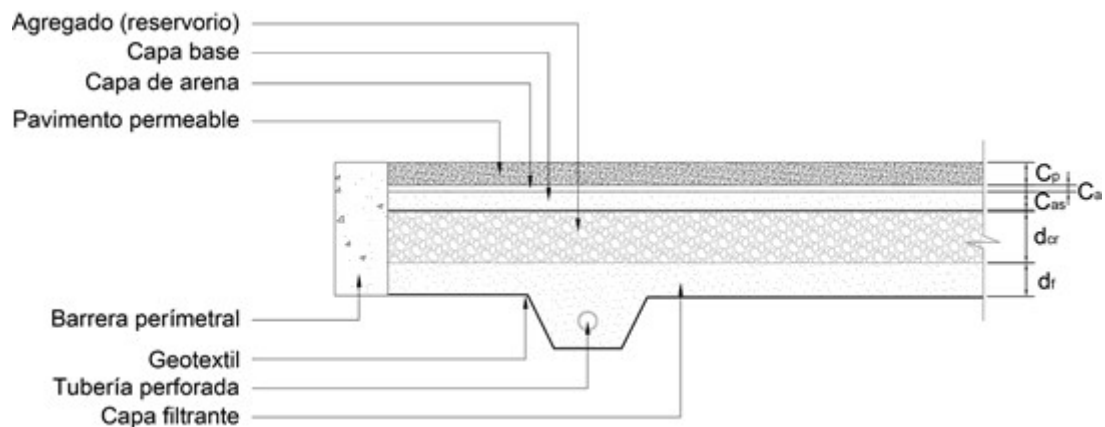


Figura 7. Pavimento permeable con infiltración parcial

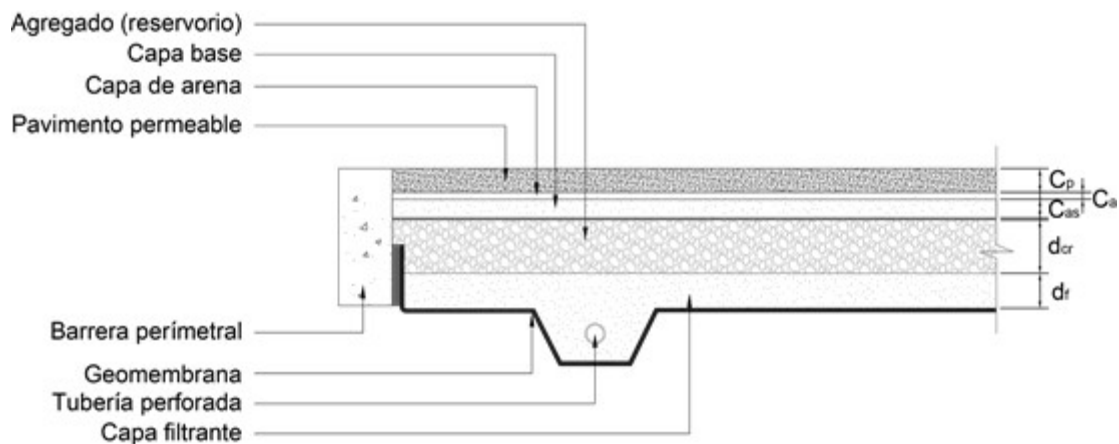


Figura 8. Pavimento permeable sin infiltración

Una vez definido el tipo de infiltración, es necesario determinar cuál será el tipo de material de la capa superficial del pavimento. Los cinco materiales que esta norma presenta son: mezcla asfáltica permeable, adoquines entrelazados, adoquines de rejillas de concreto, concreto hidráulico permeable y grava porosa. A partir de la elección de alguno de estos materiales, el diseñador debe establecer la porosidad del pavimento, la cual deberá ser menor a 30% para grava porosa y menor a 40% si se trata de alguno de los tres materiales restantes.

Ahora bien, para calcular el área del pavimento permeable (A_s), se debe estimar la relación de impermeabilidad efectiva del área impermeable (R_{im}). Para ello se ingresa en el numerador la sumatoria de las áreas aportantes (A_i) multiplicadas por su correspondiente coeficiente de escorrentía (C_i), esto se divide sobre la totalidad del área de drenaje (A_d). Posterior a esto, se establece el área que ocupará el pavimento permeable (A_s), cuyo valor debe ser como mínimo el 5% del área total de drenaje (A_d). Con estas variables se determina la relación tributaria impermeable (R_t), cuyo resultado no debe ser mayor a 2. De esta forma, se itera el valor de área de pavimento, hasta satisfacer las condiciones mencionadas previamente. Las ecuaciones asociadas se presentan a continuación:

$$R_{im} = \frac{(\sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i)}{A_d}$$

$$R_t = \frac{(A_d - A_s) \cdot R_{im}}{A_s}$$

Donde R_{im} = Relación de impermeabilidad efectiva del área tributaria (adimensional), A_i = Área de drenaje sub i, C_i = Coeficiente de escorrentía sub i, R_t = Relación tributaria impermeable (adimensional), A_s = Área del pavimento permeable (m²) y A_d = Área de drenaje (m²).

Si la pendiente del terreno es mayor a 0% es necesario incluir barreras laterales, las cuales deberán ser dispuestas paralelas a los contornos y perpendiculares al flujo, con el fin de garantizar el volumen de almacenamiento disponible y evitar que el agua retorne a la superficie. Para esto el diseñador debe establecer la pendiente del pavimento (S_p) y la porosidad del reservorio (n_{cr}). La distancia entre las barreras laterales deberá satisfacer la siguiente condición:

$$L_{bd} < \frac{2 \cdot V_c}{S_p \cdot A_s \cdot n_{cr}}$$

Donde L_{bd} = Longitud entre barreras laterales (m), S_p = Pendiente del pavimento (m/m), V_c = Volumen de calidad (m³), A_s = Área del pavimento (m²) y n_{cr} = Porosidad del reservorio (%).

Para calcular el volumen de almacenamiento necesario en el pavimento (V), se requiere que el diseñador establezca el valor de tres parámetros adicionales: la profundidad del reservorio (d_{cr}), la pendiente del reservorio (S_f) y la profundidad del borde libre (d_L) que debe ser de 0.025 m.

$$V = n_{cr} \cdot \left(d_{cr} - \frac{S_f \cdot L_{bd}}{2} - d_L \right) \cdot A_s$$

Donde V = Volumen de almacenamiento necesario en el pavimento (m³), S_f = Pendiente del reservorio (m/m), L_{bd} = Longitud entre las barreras de flujo lateral (m), d_{cr} = Profundidad del reservorio (m), A_s = Área del pavimento (m²), n_{cr} = Porosidad del reservorio (adimensional) y d_L = profundidad del borde libre (m).

Ahora bien, en caso en que la pendiente del pavimento sea igual a 0%, no es necesario incluir barreras laterales, y el volumen (V) deberá ser mayor o igual al volumen de calidad (V_c). Para los diseños de pavimentos sin infiltración o con infiltración parcial, es necesario incluir el diseño de un orificio, el cual corresponderá a la estructura de salida del pavimento. El diámetro de este orificio debe permitir el drenaje completo del volumen almacenado en un tiempo de 12 horas. El diámetro dependerá del volumen de calidad (V_c) y la distancia medida desde la base del reservorio hasta el centro del orificio (y):

$$D_o = \sqrt{\frac{V_c}{(y)^{0.41}}}$$

Donde D_o = Diámetro del orificio para un tiempo de drenaje de 12 horas (m), V_c = Volumen de calidad (m³) e y = Distancia medida desde la base del reservorio hasta el centro del orificio (m).

El Cuadro 4 presenta los valores de los parámetros de diseño de pavimentos permeables. El diseño final del pavimento debe cumplir como mínimo estas restricciones. Si alguno de estos parámetros no se cumple, el diseñador debe justificar de manera clara los métodos y aproximaciones empleadas para garantizar el adecuado desempeño hidráulico y de tratamiento del pavimento. Especificaciones puntuales de diseño pueden ser consultadas en el Anexo B.

Cuadro 4. Parámetros de diseño de pavimentos permeables

Estructura	Parámetros	Valor	Unidades
Pavimentos permeables	Relación de impermeabilidad del área total (R_{im})	> 0.05	m/m
	Relación tributaria-impermeable (R_t)	≤ 2	-
	Área del pavimento permeable (A_p)	$> 0.05 \cdot A_d$	m ²
	Profundidad del reservorio (d_{cr})	0.15 – 0.30	m
	Porosidad del reservorio (n_{cr})	> 40	%

4.5.5.6 Materiales

(a) Capa superficial o de rodadura

Cuando se utiliza concreto hidráulico permeable la capa superior de la estructura es una mezcla de agregado lavado, cemento Portland regido bajo normativa convencional (ASTM C 150), cenizas volantes y agua. No debe contener agregados finos para favorecer la creación de espacios interconectados que permitan la infiltración de la escorrentía superficial. Es necesario considerar que en esta mezcla el espacio vacío debe oscilar entre 15 – 25%, esto incrementará la permeabilidad del pavimento, pero reducirá la resistencia a la compresión, respecto al pavimento convencional. Los límites de abrasión permisibles se especifican en la normativa [“ASTM C33 – Especificación normalizada de agregados para concreto”](#) al igual que la granulometría requerida ASTM C33 No 8, ASTM C33 No 67 y ASTM C33 No 89.

La relación agua/cemento empleada es 0.27 a 0.34. Se requieren 7 días de curación tras la instalación para lograr 20.68 MPa de resistencia a la compresión. De ser posible se recomienda reforzar el concreto con fibras de polímero entre 2.50 cm de largo a 5.00 cm de largo de acuerdo con [“ASTM C1116 - Especificación normalizada para concreto reforzado con fibras”](#). Finalmente, es necesario emplear aditivos retardantes que aumenten los tiempos de fraguado y reductores de agua, que benefician la resistencia final.

Durante la construcción se empleará la misma maquinaria que en la instalación del asfalto convencional; no obstante, se debe minimizar la compactación para no afectar la abertura de los espacios vacíos. Después de la instalación se recomienda evitar el tráfico en un rango de 24 a 48 horas. La granulometría deberá cumplir las mismas normas de angularidad, durabilidad y estabilidad que las empleadas en una mezcla asfáltica tradicional, sin embargo, se deberá realizar una reducción en agregados finos como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Granulometría mezcla asfáltica permeable

Tamaño de tamiz (mm)	Equivalencia a pulgadas	% que pasa
12.5	1/2	100
9.5	3/8	95
4.75	No 4	35
2.36	No 8	15
1.18	No 16	10
0.6	No 30	2

Ahora bien, en caso de emplear adoquines permeables entrelazados en concreto. Estos deberán estar ubicados con cierto espaciamiento, el cual se rellena con material de unión permeable. En lo posible el espesor de los adoquines no deberá ser mayor a 80 mm, sin embargo, el espesor debe ser calculado de acuerdo con la solicitud de carga y uso, además deberá ser fabricado bajo la normativa [“BS EN 1338 – Bloques de pavimento en concreto. Requerimientos y métodos de evaluación”](#) o su similar colombiana [“NTC 2017 – Adoquines de concreto para pavimentos”](#).

Las juntas de infiltración constituyen una parte fundamental del pavimento con adoquines permeables, éstas son las que permiten la infiltración del agua de escorrentía. El espacio vacío debe estar entre el 5 – 15% del área superficial total, las juntas deberán ser emboquilladas con arena pasa tamiz No 8 o con el mismo material de la nivelación garantizando la estabilidad de los adoquines y evitando cualquier movimiento vertical y/o horizontal

(b) Capa de nivelación

La capa de nivelación bajo la superficie de rodadura debe permitir el paso del agua y a su vez garantizar la estabilidad del pavimento. El material granular fino debe estar dentro del rango de 2 mm a 6.33 mm, siguiendo con la norma [“BS EN 13242 – Agregados para materiales con y sin ligantes hidráulicos para uso en obras de ingeniería civil y construcción de vías”](#); no obstante, una gradación típica se presenta en la Tabla 10. Se debe consultar con el fabricante el material más adecuado para cada tipo de sistema. En caso de emplear geotextiles, estos deben permitir el flujo libre del agua sin producir cambios en la cabeza hidráulica. Estos deben ser fabricados con polietileno, polipropileno u otro monofilamento adecuado que soporte cargas adicionales aplicadas durante la construcción. La vida útil del geotextil debe ser igual o superior a la vida útil del pavimento, y deberá ser tejido o no tejido, capaz de resistir agentes químicos y bacterianos cumpliendo con la norma ISO10319.

Tabla 10. Gradación del material de la capa de transición

Tamaño de tamiz (mm)	Porcentaje de Pasaje
14	100
10	98 – 100
6.3	80 – 99
2	0 – 20
1	0 – 5

(c) Sub-base o reservorio

La granulometría de la sub-base o reservorio debe garantizar la estabilidad del pavimento mediante la trabazón de agregados. Puede ser empleado granito, basalto o gabra y no se debe emplear arena o grava con caras redondeadas. La gradación típica para esta capa debe ser de tipo AASHTO #57 o #67. Debido a que el agregado permanecerá en contacto con el agua por largos periodos de tiempo, la durabilidad y resistencia del material debe ser evaluada bajo condición de saturación, humedad y seca. Se debe evitar la migración de finos de la capa de nivelación hacia la sub-base permeable.

(d) Capa filtrante y de drenaje

Bajo la sub base o reservorio se requiere de una capa filtrante y una tubería perforada cuando se construye la estructura con infiltración parcial y sin infiltración. Esta tubería perforada se debe localizar dentro de una capa de agregado con una gradación como se presenta en el Cuadro 5. Si se requiere dentro de la capa de drenaje la tubería perforada deberá ubicarse con una profundidad de agregado de 8 cm sobre la tubería y 15 cm bajo ésta.

Cuadro 5. Gradación del material de la capa filtrante

Tamaño		Porcentaje de Pasaje
19 mm	$\frac{3}{4}$ "	100
4.75 mm	No 4	60 – 100
300 µmm	No 50	10 – 30
150 µmm	No 100	0 – 10
75 µmm	No 200	0 – 3

(e) Membrana impermeable

Cuando no se desea permitir la infiltración al suelo natural de la estructura del pavimento, ésta deberá contar en el fondo con una geomembrana que contenga el volumen de escorrentía que ingresa a la capa de almacenamiento. El calibre debe ser calculado por el diseñador, de acuerdo con la carga aplicada y a la resistencia a punzonamiento.

(f) Barreras de borde

Para un buen funcionamiento de espacios con pavimentos porosos es importante emplear restricciones en los bordes. En especial los pavimentos en bloques deben apoyarse contra las barreras de borde para prevenir su rotación bajo carga o cualquier consecuencia proveniente de la separación de las juntas. Para ello las restricciones deben ser estables y proveer el soporte necesario para la estructura del pavimento. Se prefieren bordes de concreto, aunque en algunas instalaciones es aceptable el uso de metal o plástico. En algunas ocasiones, se pueden usar los andenes y cunetas como soporte lateral del pavimento, prestando especial cuidado con el uso de maquinaria pesada.

Cuando un pavimento permeable está junto a un pavimento convencional se puede requerir un revestimiento vertical impermeable para separar el reservorio del pavimento permeable de los agregados y capas de suelo del pavimento adyacente.

4.5.6 Zanjas de infiltración

4.5.6.1 Diseño

Esta estructura consiste en una excavación lineal y cuadrangular recubierta en geotextil, que es rellenada con un reservorio de material granular que actúa como filtro o trampa de contaminantes. La estructura de la zanja se compone una capa superficial de borde libre (d_L), seguido de una capa protectora o filtrante, y un reservorio compuesto por un medio granular (d). El diseño de esta estructura tiene como objetivo detener e infiltrar la totalidad del volumen de escorrentía generado de un evento de precipitación. No obstante, ciertas limitaciones físicas del sitio a intervenir pueden hacer necesario el acople de estructuras anexas, que faciliten la evacuación del volumen de agua capturado. Según sea el caso, se deben incorporar tuberías perforadas que faciliten la evacuación del agua y tuberías de rebose que eviten que el volumen de escorrentía sobrepase el nivel de diseño.

El reservorio empleado tiene un alto riesgo de colmatación debido al constante ingreso e interacción con sedimentos. Por esta razón, se deben involucrar en el diseño, estructuras anexas de pre-tratamiento (ver sección 4.6.1) como franjas de césped, que reduzcan de manera importante la carga de partículas gruesas de alto potencial de obstrucción. Estas estructuras complementarias permitirán prolongar el tiempo de operación de la estructura, así como la frecuencia de las actividades de mantenimiento. Información adicional y en mayor detalle del diseño de zanjas de infiltración pueden encontrarse en el Anexo B.

4.5.6.2 Operación

Usualmente la escorrentía ingresa a la estructura a través de estructuras anexas que concentran de forma puntual el flujo de escorrentía a la entrada de la zanja. Es necesario considerar en el diseño, la cantidad de agua lluvia que se precipita directamente sobre el área de la estructura durante cada evento. Una vez la escorrentía está en la zanja, ésta se irá almacenando en los intersticios del medio granular empleado en el reservorio. Esto permite reducir la velocidad de flujo del agua y favorecer la infiltración de ésta en el suelo circundante a través del fondo de la estructura. Por esta razón, las paredes laterales y el fondo de la excavación se deben cubrir con geotextil no tejido, para garantizar la dirección vertical del flujo, contener el material granular del reservorio y prevenir la inestabilidad del suelo adyacente (ver Figura 9).

Durante el tiempo de residencia del agua, ésta se irá filtrando a través del reservorio, reduciendo significativamente la carga contaminante. El volumen de agua remanente que no pueda ser infiltrado en el suelo, será evacuado a través de las diferentes estructuras anexas a otra estructura de drenaje o a un cuerpo de agua receptor, según sea el caso.

4.5.6.3 Criterios de localización

El diseño lineal de esta estructura permite una mayor flexibilidad de construcción en áreas urbanas angostas, pero de extensión considerable (parques lineales, separadores viales y/o antejardines, entre otros), en comparación con otras tipologías de SUDS. Adicionalmente, dado que su construcción se desarrolla de manera subterránea, esta estructura no interfiere de manera importante con el paisaje preexistente.

Esta tipología no se recomienda para zonas que se encuentren cerca a sitios en construcción, ya que la escorrentía generada luego de un evento de precipitación puede contener grandes cantidades de sedimentos, escombros y otros contaminantes que pueden causar la obstrucción temprana del sistema. Las zanjas se deben proteger antes de completar y estabilizar las áreas en desarrollo aguas arriba. En caso de que la zanja se constituya como una de las obras a realizar dentro de un proyecto de mayor envergadura, ésta debe entrar en operación en las últimas etapas del proyecto, para prevenir posibles fallas estructurales y operativas.

4.5.6.4 Restricciones

Las restricciones generales de implementación de esta tipología en un sitio particular se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Restricciones del sitio para la implementación de zanjas de infiltración

Restricciones	Límites	Unidades
Pendiente longitudinal	$> 1 ; < 5$	%
Distancia al nivel freático	> 3	m
Tasa de infiltración del suelo	> 7	mm/h
Distancia a cimientos	> 6	m

4.5.6.5 Predimensionamiento

El proceso de diseño de zanjas de infiltración se compone de una serie de etapas de cálculo y verificación. En primer lugar, a partir del área tributaria (A_d), los coeficientes de escorrentía y la profundidad de la lámina de lluvia (h_p) del sitio de interés (ver sección 4.3), se debe determinar el volumen de calidad (V_c) que deberá tratar la zanja.

Luego, el diseñador debe determinar un valor para la tasa de infiltración de diseño de la zanja (i_d), la cual dependerá de la tasa de infiltración del suelo (i) y un factor de seguridad (FS_b). Por lo tanto, es necesario realizar ensayos de infiltración en el área a intervenir para, de esta manera, conocer los parámetros requeridos. El Cuadro 6 presenta un resumen de 4 alternativas de ensayos de infiltración, así como el factor de seguridad correspondiendo a cada ensayo.

Cuadro 6. Requerimientos según test de Infiltración – Zanjas de Infiltración

Tipo de ensayo	Anillo infiltrómetro	Test de percolación	Sondeo Muestra Inalterada	Reporte final	Manual hidrológico	Factor de seguridad (FS_b)
1	2 test mínimo (1 por zanja)	No empleado	1 test por zanja	Requerido	No empleado	3
2	No empleado	4 test mínimo (2 por zanja)	1 test por zanja	Requerido	No empleado	3

3	No empleado	No empleado	1 test por zanja	Requerido	No empleado	6
4	No empleado	No empleado	1 test por zanja	No requerido	Únicamente	10

De este modo, la tasa de infiltración de diseño (f_d) será menor a la tasa de infiltración del suelo (f), con el fin de prever la reducción eventual de la capacidad de infiltración del reservorio por la operación de esta estructura de drenaje.

$$f_d = \frac{f}{FS_b}$$

Donde f_d = Tasa de infiltración de diseño (mm/h), f = Tasa de infiltración obtenida según los ensayos de infiltración (mm/h) y FS_b = Factor de seguridad (adimensional).

Posteriormente, se debe estimar la profundidad máxima de almacenamiento ($d_{m\acute{a}x}$), la cual se determina a partir de la selección del valor mínimo entre dos profundidades: (1) la profundidad de almacenamiento según condiciones del suelo (D_1) y (2) la profundidad máxima requerida por restricciones de la zona (D_2). Para determinar D_1 es necesario que el diseñador establezca la porosidad del reservorio (n_g) y el tiempo de drenaje requerido en la zanja (T_d), el cual debe ser menor a 48 horas.

Por otra parte, D_2 corresponde a la profundidad más restrictiva entre la capa impermeable (d_{ci}) y el nivel freático (d_{nf}). Para su cálculo, el diseñador debe definir previamente la profundidad del borde libre en la parte superior (d_l), usualmente compuesto por gravilla. Para luego determinar la profundidad desde la superficie de la zanja hasta la capa de suelo impermeable (d_{ci}), y hasta el máximo nivel freático (d_{nf}).

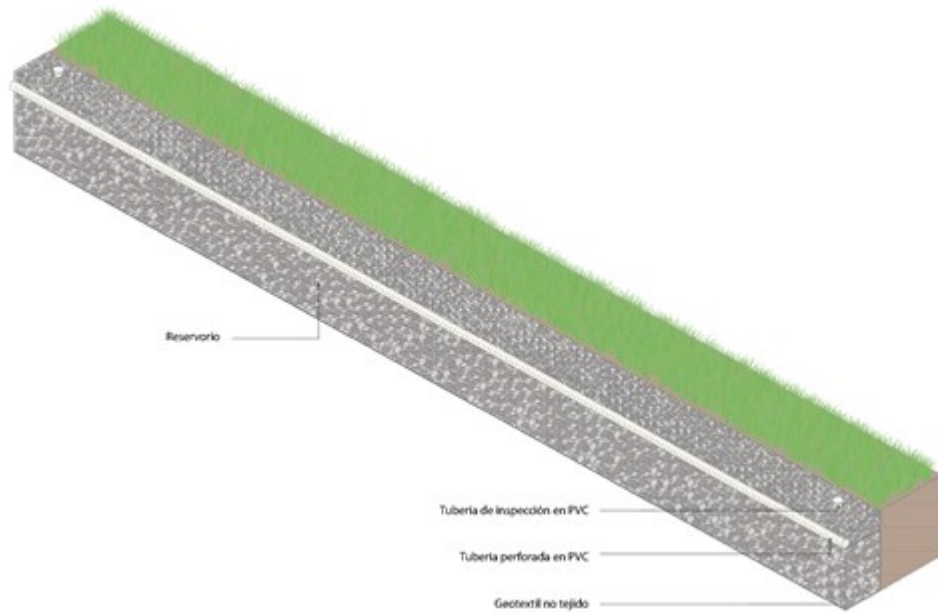


Figura 9. Esquema de referencia zanja de infiltración

La profundidad del borde libre en la parte superior de la zanja (d_L) no cuenta como espacio disponible para el almacenamiento temporal del volumen de diseño. Este espacio debe emplearse para ubicar la tubería de desbordamiento, la cual permite conducir volúmenes mayores al de diseño o volúmenes no tratados en caso de fallas del sistema. Asimismo, se debe emplear tuberías perforadas o pozos de observación para verificar el adecuado funcionamiento de la estructura de drenaje. Las ecuaciones del proceso de cálculo anterior se presentan a continuación:

$$D_1 = \frac{T_d \cdot \left(\frac{f}{1000} \right)}{F_{bs} \cdot \left(\frac{n_g}{100} \right)}$$

$$D_2 = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} d_{inf} - (3 + d_L) \\ d_{ci} - (1.5 + d_L) \end{array} \right.$$

$$d_{m\acute{a}x} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} D_1 \\ D_2 \end{array} \right.$$

Donde D_1 = Profundidad de almacenamiento según condiciones del suelo (m), f = Tasa de infiltración según ensayos de infiltración (mm/h), T_d = Tiempo de drenaje (h), n_g = Porosidad del reservorio (%), F_{bs} = Factor de seguridad (adimensional), D_2 = Profundidad máxima requerida por restricciones de la zona (m), d_{inf} = Profundidad desde la base del reservorio hasta el máximo nivel freático histórico (m), d_{ci} = Profundidad desde la base del reservorio hasta la capa impermeable (m), d_L = Profundidad del borde libre (m) y $d_{m\acute{a}x}$ = Profundidad máxima de la zanja (m).

Una vez se determina $d_{m\acute{a}x}$, el diseñador debe seleccionar la profundidad final de la zanja (d) la cual no debe superar la profundidad máxima ($d_{m\acute{a}x}$) ni superar un máximo de 2.40 metros. A partir de la profundidad final de la zanja (d) y del volumen de calidad (V_c) es posible calcular el área superficial mínima de fondo de la zanja $A_{s\acute{m}in}$:

$$A_{s\acute{m}in} = \frac{V_c}{d \cdot \frac{n_g}{100}}$$

Donde A_{smin} = Área mínima de fondo de la zanja (m²), V_c = Volumen de calidad de diseño (m³), d = Profundidad final de la zanja (m) y n_g = Porosidad del material agregado (%).

Finalmente, el ancho mínimo (W_{min}) de la zanja debe ser mayor o igual a la profundidad de la zanja incluyendo la profundidad del borde libre (d_L), con el fin de favorecer una mejor distribución del flujo en toda la estructura bajo la superficie.

$$W_{min} \geq d + d_L$$

Donde W_{min} = Ancho mínimo de la zanja (m), d = Profundidad final de la zanja (m) y d_L = Profundidad del borde libre (m).

El Cuadro 7 presenta los valores de los parámetros de diseño de zanjas de infiltración. El diseño final de esta tipología debe cumplir como mínimo estas restricciones. Si alguno de estos parámetros no se cumple, el diseñador debe justificar de manera clara los métodos y aproximaciones empleadas para garantizar el adecuado desempeño hidráulico y de tratamiento de la zanja. Especificaciones puntuales de diseño pueden ser consultadas en el Anexo C.

Cuadro 7. Parámetros de diseño de zanjas de infiltración

Estructura	Parámetros	Valor	Unidades
Zanjas de infiltración	Factor de seguridad de la tasa de infiltración (F_{sb})	> 1	-
	Tiempo máximo de drenaje (T_d)	< 48	h
	Porosidad del reservorio (n_g)	40	%
	Distancia a capa impermeable (d_{ci})	> 1.5	m
	Pendiente del reservorio	< 1	%
	Profundidad del borde libre (d_L)	> 0.3	m
	Profundidad del reservorio (d)	< 2.4	m
	Diámetro tubería de desbordamiento	0.1 – 0.15	m

En cuanto a las estructuras de entrada asociadas a esta tipología se pueden incluir tuberías perforadas (ver sección 4.6.5.1) cerca de la parte superior de la zanja con el fin de distribuir el flujo de escorrentía y garantizar el transporte adecuado. Igualmente, se puede utilizar una tubería de rebose (ver sección 4.6.4.1) en caso de que disminuya la capacidad de infiltración del terreno.

4.5.6.6 Cobertura vegetal asociada

Esta tipología no suele incluir vegetación en sus diseños. Sin embargo, dado que las zanjas están protegidas con un geotextil, si el diseñador lo considera, se pueden incluir una cobertura vegetal sobre la superficie de la zanja. Si se involucra cobertura vegetal a esta estructura, es necesario incrementar la frecuencia de labores de seguimiento y mantenimiento, para evitar fallas en la operación del sistema.

4.5.6.7 Materiales

(a) Borde libre

Cuando la escorrentía ingresa a la zanja a través de la superficie, se debe incorporar una capa superficial de gravilla con un tamaño de tamiz de máximo 1 cm de diámetro y una profundidad entre 10 y 30 cm. Bajo esta capa es necesaria una barrera para la retención del sedimento antes de ingresar a la zanja. Esta barrera puede ser un geotextil o un estrato de arena y roca triturada con un tamaño entre 9 – 13 mm. Si se utiliza geotextil sobre la zanja, éste debe prevenir el bombeo del

suelo, pero debe tener cabeza de succión cero y una permeabilidad mayor que la del suelo circundante.

En el caso en que la escorrentía es dirigida a través de la tubería, el estrato superior debe ser 30 cm de suelo superficial. Adicionalmente, se debe tener un sistema de pretratamiento (ver sección 4.6.1) para evitar el ingreso de contaminantes y por ende la colmatación temprana del sistema.

(b) Reservorio

El medio granular que compone el reservorio de la zanja, debe permitir la entrada del volumen de agua y su infiltración hacia las capas inferiores de la misma. El material constructivo de éste puede ser grava (AASHTO #3 o #57) u otro agregado de preferencia local. No obstante, independiente de cual se utilice, éste debe tener un porcentaje de vacíos entre 30 – 40% para permitir una adecuada infiltración y reducir el riesgo de bloqueo. Roca con diámetros entre 40 y 65 mm son apropiados para la zanja.

De forma alternativa, el reservorio puede estar construido con materiales prefabricados. Usualmente, estos consisten en geoceldas modulares o módulos con celdas de plástico, que pueden adaptarse fácilmente a la geometría del reservorio. En caso de ser utilizados, se debe determinar la carga esperada para la estructura y de esta forma garantizar que no se presenten fallas de los módulos a lo largo de su vida útil. En el fondo de la zanja es recomendable instalar una capa de 15 cm de arena lavada para mejorar el drenaje y prevenir la compactación del suelo nativo cuando se agrega el material del reservorio.

(c) Capa de drenaje

Si se considera tubería para el drenaje, se debe utilizar tubería perforada de PVC o de HDPE corrugado. Además de la tubería del sistema de drenaje, se recomienda la instalación de un sistema de rebose para eventos de tormenta de gran magnitud.

(d) Suelo circundante

El correcto desempeño de las zanjas de infiltración depende en gran parte de la capacidad del suelo circundante para infiltrar. Para la instalación de zanjas no son recomendados los suelos arenosos sueltos o esquistos; sin embargo, arenas compactadas y suelos con suficiente permeabilidad son los más apropiados. Aunque suelos con baja conductividad no necesariamente son excluidos, de acuerdo con el tamaño de la estructura se podría requerir mayor capacidad, y típicamente se utilizan suelos en el rango de arenas hasta arenas arcillosas.

Dado que esta estructura infiltra en el suelo nativo, el sitio escogido debe cumplir con las restricciones sugeridas de distancias a cimientos, así como las distancias mínimas al nivel freático. Es necesario evitar la instalación de estas estructuras en cercanías a industrias o sitios con alto potencial de generar escorrentía altamente contaminada.

Para mejorar la infiltración, se recomienda cavar al menos 30 cm del suelo nativo y reemplazarlo uniformemente sin compactación. Agregar entre 15 – 30% de arena gruesa a la nueva mezcla es conveniente.

4.5.7 Zonas de bio-retención

4.5.7.1 Diseño

Esta tipología consiste en una depresión del suelo en donde se siembra una capa de cobertura vegetal, sobre un sustrato, una capa filtrante y una capa de drenaje (si se presentan restricciones de infiltración), de manera que se promueve la detención, infiltración y posterior evacuación de la escorrentía captada. El componente principal de esta tipología es la cobertura vegetal utilizada, puesto que de ésta dependerá el correcto desempeño de la estructura. Las zonas de bio-retención generan diversos beneficios en cuanto al manejo de escorrentía, calidad del agua, paisajismo y amenidad.

Dentro de los componentes de esta tipología está un muro de retención, que permite la delimitación la estructura y direccionar en un punto específico la entrada de escorrentía. De modo que se prevengan problemas de erosión por entrada difusa. Adicionalmente, en la entrada de la zona de bio-retención se debe ubicar un dissipador de energía que reduzca la velocidad de ingreso del

volumen de agua captado. Para la cobertura vegetal, se debe proveer una capa de mantillo, bajo ésta, una capa de suelo mejorado para sostener las raíces de las plantas y una capa de grava para retener un mayor volumen de agua.

La evacuación del agua se hará por medio de tuberías perforadas que dirijan la escorrentía que no es infiltrada hacia el sistema de drenaje convencional o hacia otra estructura de SUDS, si esta conforma un tren de tratamiento. Cuando se considere necesario se debe incluir un recubrimiento impermeable lateral y/o de fondo para evitar la infiltración del agua hacia zonas no deseadas. Información adicional y en mayor detalle del diseño de zonas de bio-retención pueden encontrarse en el Anexo B.

4.5.7.2 Operación

La escorrentía ingresa a la estructura por medio de drenaje directo o por medio de estructuras anexas complementarias que conducen el agua hacia su interior (ver sección 4.6.2). En caso de que se requiera, es posible acoplar de manera previa alguna estructura de pre-tratamiento (ver sección 4.6.1), para de esta forma reducir la carga de contaminación que ingresa a esta tipología. El diseño de la zona de bio-retención debe permitir el almacenamiento temporal y la infiltración del volumen de escorrentía a través de un suelo orgánico abonado y suelo de plantación y/o medio filtrante. Debido a la variedad de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar dentro de la estructura, esta tipología funciona como un buen sistema de remoción de contaminantes. A medida que el agua pasa a través de las diferentes capas de suelo, los contaminantes son infiltrados, absorbidos y biodegradados por el suelo y las plantas. El volumen de escorrentía que no sea infiltrado al subsuelo se conduce por medio de un drenaje subsuperficial hacia la salida.

La operación de esta tipología de SUDS depende directamente de la idoneidad de la cobertura vegetal empleada. Por lo tanto, es necesario garantizar la adecuada ejecución de las actividades de mantenimiento: Poda de pastos y arbustos, tratamiento de especies enfermas, remoción de material vegetal muerto, replantación de especies y remoción de maleza y especies invasoras.

4.5.7.3 Criterios de localización

Esta tipología requiere de un área menor en comparación con otros SUDS, su diseño es altamente flexible y por lo tanto adaptable a una gran variedad de espacios en el área urbana, siempre y cuando se garanticen las restricciones físicas del terreno. Las zonas de bio-retención pueden ser implementadas en separadores de zonas viales, andenes, parqueaderos, zonas recreativas, áreas comerciales y áreas de uso residencial.

4.5.7.4 Restricciones

Las restricciones generales para la implementación de esta tipología en un sitio particular se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Restricciones de implementación de zonas de bio-retención

Restricción	Límites	Unidades
Pendiente longitudinal	< 10	%
Distancia al nivel freático	> 1.8	m
Tasa de infiltración del suelo	> 7	mm/h
Distancia a cimientos	> 6	m

4.5.7.5 Predimensionamiento

El proceso de diseño de zonas de bio-retención se compone de tres etapas de cálculo. En primer lugar, a partir del área tributaria (A_d), los coeficientes de escorrentía y la profundidad de la lámina de lluvia (h_p) del sitio de interés (ver sección 4.3), se debe determinar el volumen de calidad (V_c) que deberá tratar la zona de bio-retención (ver Figura 10).

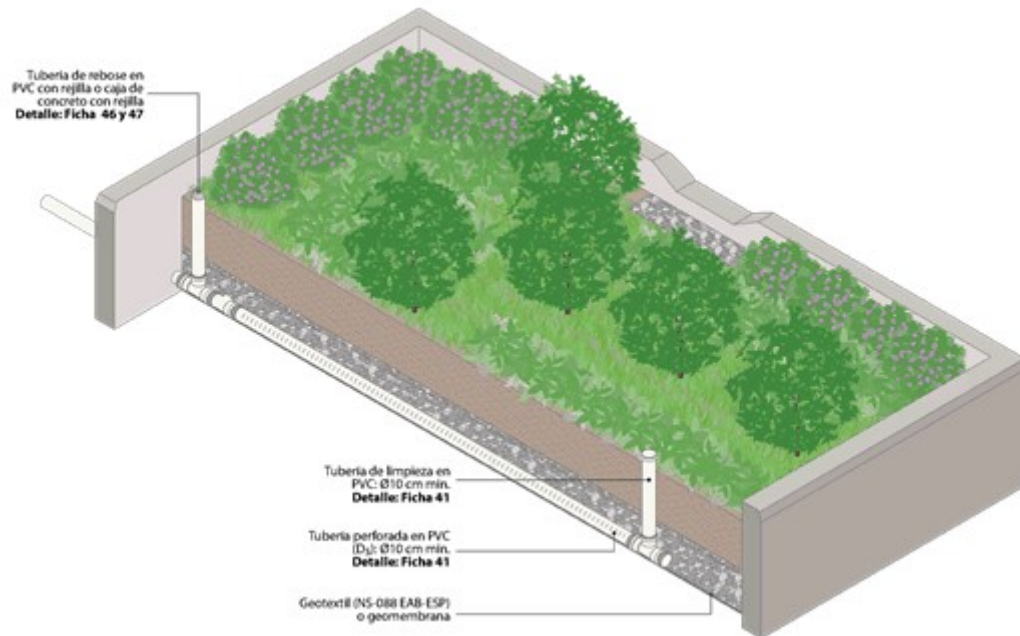


Figura 10. Esquema de referencia zona de bio-retención

Luego, en la segunda etapa se establecen las características geométricas de la estructura. El primer parámetro por calcular es el área mínima de fondo de la estructura (A_{minf}). Esta área se define con el objetivo de reducir la probabilidad de colmatación y la frecuencia de mantenimiento. Para ello se debe establecer previamente la profundidad de diseño (d), la cual no debe superar los 30 cm, y requerir el volumen de calidad (V_c) determinado anteriormente.

$$A_{minf} = \frac{2 \cdot V_c}{3 \cdot d}$$

Donde A_{minf} = Área mínima de fondo de la estructura (m^2), V_c = Volumen de calidad de diseño (m^3) y d = Profundidad de diseño (m).

Una vez se cuenta con la restricción mínima de área de fondo (A_{minf}), el diseñador debe establecer el área de fondo (A_f), garantizando que ésta sea mayor al área mínima de fondo determinada previamente. Así mismo el diseñador debe definir el área superficial de la zona de bio-retención (A_s), la cual deberá ser mayor o igual al área de fondo (A_f). Con estas dos variables y la profundidad de diseño (d) se calcula el volumen total (V), el cuál debe ser mayor o igual al volumen de calidad (V_c) estimado. Si algunas de estas condiciones no se satisfacen, es necesario replantear las variables iniciales del proceso de cálculo, hasta satisfacer todas estas restricciones.

$$V = \frac{A_s + A_f}{2} \cdot d$$

Donde V = Volumen total (m^3), A_s = Área superficial de la estructura (m^2), A_f = Área mínima de fondo de la estructura (m^2) y d = Profundidad de diseño (m).

Ahora bien, de acuerdo con el tipo de infiltración que se desee en el área intervenida, el diseño de la zona de bio-retención varía. Para zonas de bio-retención con infiltración completa (ver Figura 11) no es necesario incluir ningún tipo de tubería perforada en el fondo de la estructura, puesto que el suelo intervenido cuenta con una buena tasa de infiltración y no hay ninguna restricción que impida que el volumen de escorrentía se infiltre en su totalidad en el suelo circundante.

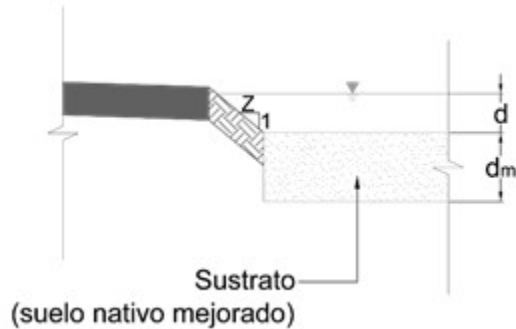


Figura 11. Zonas de bio-retención con infiltración completa

Para áreas con infiltración parcial (ver Figura 12), se debe incluir unas tuberías perforadas que complementen el sistema de drenaje del volumen de escorrentía almacenado y un geotextil en el fondo de la estructura para reducir la infiltración. En caso de que no sea posible incluir prácticas de infiltración en el diseño de la zona de bio-retención (ver Figura 13), se debe cubrir el fondo de la tipología con una geomembrana que impida cualquier pérdida de agua, y por lo tanto, todo el volumen deberá ser descargado mediante una tubería perforada, ubicada en la capa más profunda de esta estructura de drenaje.

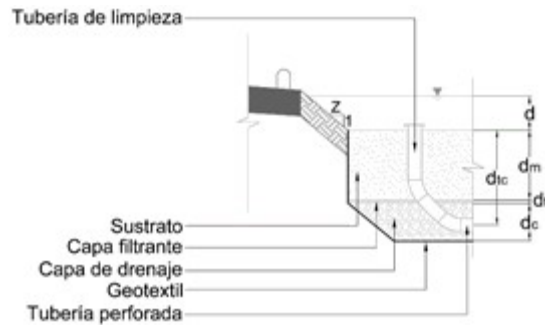


Figura 12. Zonas de bio-retención con infiltración parcial

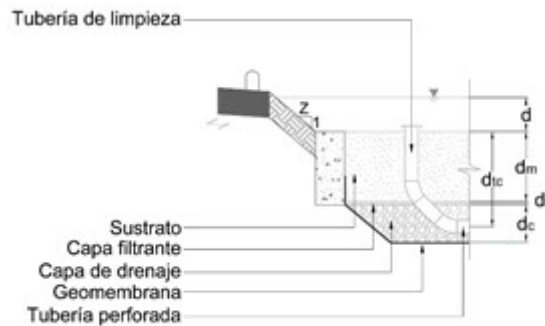


Figura 13. Zonas de bio-retención sin prácticas de infiltración

Por último, la tercera etapa de cálculo sólo se debe realizar cuando se diseñen zonas de bio-retención con infiltración parcial o sin restricción. En esos casos se debe incluir el diseño del sistema de drenaje de la estructura, el cual se compone de tuberías perforadas y una estructura de salida. Las tuberías perforadas se deben utilizar cuando la tasa de infiltración sea menor a 2 veces la tasa requerida para drenar el volumen de diseño de calidad en 12 horas. Otra alternativa consiste en la implementación de una placa perforada. Para ambos casos, el diámetro de los orificios de salida se define de la siguiente manera:

$$D_o = \sqrt{\frac{V_c}{65.17 \cdot d_{tc}^{0.41}}}$$

Donde D_o = Diámetro de los orificios (m), V_c = Volumen de calidad de diseño (m^3) y d_{tc} = Distancia desde la superficie del sustrato hasta el centro de las tuberías (m).

La Tabla 13 presenta dos consideraciones técnicas para las tuberías perforadas utilizadas. Se debe tener cuidado con el incremento de la longitud, así como con la disminución de la distancia entre los centros de las tuberías, puesto que, aunque resulta beneficioso para la hidráulica de la estructura, va en detrimento de la integridad estructural de la tubería.

Tabla 13. Consideraciones técnicas recomendadas para tubería perforada

Diámetro	Longitud del orificio	Ancho máx. del orificio	Distancia a centros	Área cubierta (por cada 0.305m)
10 cm	0.16 – 2.5 cm	0.08 cm	1.05 cm	12.26 cm^2
15 cm	0.95 – 2.5 cm	0.08 cm	1.31 cm	12.77 cm^2

El Cuadro 8 presenta los valores de los parámetros de diseño de zonas de bio-retención. El diseño final de esta tipología debe cumplir como mínimo estas restricciones. Si alguno de estos parámetros no se cumple, el diseñador debe justificar de manera clara los métodos y aproximaciones empleadas para garantizar el adecuado desempeño hidráulico y de tratamiento de la zona de bio-retención. Especificaciones puntuales de diseño pueden ser consultadas en el Anexo C.

Cuadro 8. Parámetros de diseño de zonas de bio-retención

Estructura	Parámetros	Valor	Unidades
Zonas de bio-retención	Profundidad de diseño (d)	< 0.30	m
	Profundidad del sustrato (d_m)	> 0.45	m
	Profundidad de la capa filtrante (d_f)	> 0.05	m
	Profundidad capa de drenaje (d_c)	0.33 – 0.38	m
	Pendiente lateral máxima (Z:1)	< 4:1	-
	Diámetro orificio (D_o)	< 1	cm
	Profundidad del estrato de drenaje (d_e)	> 0.15	m
	Espaciamiento entre tuberías perforadas (s)	< 6	m

4.5.7.6 Cobertura vegetal asociada

Para zonas de bio-retención la vegetación debe ser suficientemente robusta como para soportar la contaminación proveniente de la escorrentía. Se sugiere incluir un mínimo de 3 tipos de arbustos para generar un rango mayor de diversidad y de este modo proteger la cobertura vegetal contra plagas y enfermedades. Adicionalmente, para proteger el mantillo de erosión se debe incluir una cobertura de plantas herbáceas.

En esta tipología no se deben implementar cercas o encerramientos, dado que esto disminuye la posibilidad de recreación por parte de la comunidad y reduce la calidad paisajística de este SUDS. No obstante, si el diseñador considera que el contexto del sitio requiere una protección externa debido a problemas de vandalismo o daño de usuarios, el encerramiento debe ser perimetral a la

estructura y no debe superar 1.5 m de altura. El listado específico de especies vegetadas aplicables al diseño de esta tipología se puede encontrar en el Anexo B.

4.5.7.7 Materiales

(a) Sustrato (Medio filtrante)

El material del medio filtrante, que a su vez es el suelo de la vegetación, debe ser seleccionado para cumplir los requerimientos de las plantas y la infiltración deseada. Típicamente se utiliza limo arenoso con una conductividad entre 50 y 300 mm/h. En la Tabla 14 se presentan los valores recomendados para la textura del componente mineral del suelo que corresponde al 85%. El 15% restante debe ser el componente orgánico.

Tabla 14. Requerimientos del componente mineral para el suelo.

Componente	Rango de Tamaño (mm)	Rango de porcentaje (%)
Arena	0.05 – 2	70 – 80
Limo	0.002 - 0.05	15 – 20
Arcilla	< 0.002	5 – 10

Para permitir la absorción de nutrientes, se usa una capa de mantillo o de material orgánico. El mantillo debe ubicarse uniformemente con un grosor entre 5 y 8 cm, y debe ser de madera desmenuzada. Se deben evitar materiales más livianos que puedan flotar y salir del perímetro de la zona de bio-retención en un evento de tormenta. El mantillo debe ser maduro, entre 6 y 12 meses. Si el diseñador desea remover nitrógeno se debe añadir aserrín o astillas de madera a la arena del medio. Aunque el aserrín puede ser más efectivo en la desnitrificación que las astillas, puede ser menos duradero, por lo que se puede considerar la adición de un 20 - 30% de astillas de madera a la mezcla como una alternativa efectiva en la remoción de nitrógeno.

Ahora bien, en caso de que el componente orgánico (15%) incluya compost, debe neutralizarse previamente el nitrógeno para evitar que éste sea lixiviado al medio. En la Tabla 15 se especifican algunas características para el compost.

Tabla 15. Parámetros para el uso de compost en las zonas de bio-retención

Característica	Valor	Unidades
Razón Amonio/Nitrato	< 4	-
Razón Carbono/Nitrógeno	< 12	-
Rango de pH	6 – 8.4	-
Porcentaje de germinación	> 80	%
Conductividad eléctrica	0 – 5	mmhos/cm

El sustrato o medio filtrante debe ser evaluado por lo menos una vez para que cumpla con los requisitos que se presentan en la Tabla 16. El mismo laboratorio debe realizar los diferentes ensayos para el suelo dadas las diferencias en la calibración que pueden existir. Si el pH no se encuentra en el rango adecuado, se puede modificar usando cal o sulfato de hierro más azufre, si se quiere aumentar o reducir, respectivamente.

Tabla 16. Características recomendadas para los suelos utilizados en las zonas de bio-retención

Parámetro	Valor	Unidad
Rango de pH	5.5 - 6.5	-
Materia Orgánica (por peso)	1.5 - 3	%
Magnesio	40	Kg/ha
Fósforo (como P ₂ O ₅)	84	Kg/ha

Potasio (como K ₂ O)	95	Kg/ha
Sales Solubles	< 500	ppm

(b) Capa de drenaje

La capa de drenaje se compone de una cama de agregado #ASTM 57 de mínimo 15 cm de profundidad. Seguido de una tubería perforada (si se requiere) con un diámetro mínimo de 10 cm, la cual se ubica sobre una segunda cama de agregado #ASTM 57 de mínimo 8 cm de profundidad. En caso de utilizar grava fina se debe contar con una zona de transición entre la capa filtrante y la capa de drenaje de arena gruesa para prevenir el lavado del material de la capa filtrante en el sistema de drenaje. Todos los materiales utilizados, especialmente las gravas, deben ser lavadas previamente a la implementación de la zona de bio-retención.

Si se requiere una capa de impermeabilización bajo la estructura, se debe utilizar geomembrana resistente a la tracción y a la perforación. Las tuberías perforadas incluidas en la capa de drenaje generalmente están construidas en PVC y tienen diámetros que oscilan entre 10 y 15 cm con perforaciones de 1 cm, distanciadas por 15 cm medidos desde el centro, 4 perforaciones por línea. No se debe utilizar madera tratada o metal galvanizado para cualquier componente de la zona de bio-retención.

4.6 ESTRUCTURAS ANEXAS

Para el adecuado funcionamiento de las distintas tipologías de SUDS, se sugiere incluir diferentes estructuras anexas para mejorar el desempeño de las mismas y prolongar las labores de mantenimiento. Estas estructuras están clasificadas de acuerdo con sus características y/o funciones y pueden cambiar dependiendo de la tipología. No obstante, existen algunos criterios de diseño generales que se pueden emplear en el proceso de diseño de los SUDS. Estos criterios se presentan brevemente en esta sección.

Las tablas aquí incluidas relacionan las estructuras anexas con las tipologías a la que se encuentran típicamente asociadas; sin embargo, algunas de las estructuras que no se encuentran indicadas podrían implementarse si se considera conveniente para un caso en particular. Cada tabla tiene asociadas las letras (O) y (C) las cuales indican que la construcción de la estructura anexa particular es obligatoria o está condicionada a las características del sitio, respectivamente. Por esta razón, el diseñador deberá considerar y justificar técnicamente los diferentes criterios para decidir la necesidad de estas estructuras. Los criterios que condicionan la pertinencia o no de cada estructura, están agrupados en cada tabla.

Ahora bien, una tipología de SUDS puede presentar varias estructuras anexas de un tipo específico (pre-tratamiento, entrada, salida, etc.), por lo tanto el diseñador debe incluir al menos una de estas por cada tipo de estructura anexa. Si se considera necesario incluir más de una estructura por cada tipo, se debe justificar claramente su necesidad en el diseño.

4.6.1 Estructuras de pretratamiento

El objetivo de estas estructuras es reducir la carga de sedimentos y residuos gruesos que transporta el flujo de escorrentía, antes de que éste sea captado por un SUDS determinado. La ventaja de este tipo de estructuras consiste en la capacidad de prolongar la vida útil de cada una de las tipologías, así como reducir la frecuencia de mantenimiento de las mismas en cada caso. El Cuadro 9 presenta qué tipo de estructura es aplicable a cada tipología.

Cuadro 9. Estructuras de pretratamiento típicas para cada tipología

Estructura de Pretratamiento		Tipología						
		Alcorques Inundables	Cuenca Seca de Drenaje Extendida	Cunetas Verdes	Zanjas de Infiltración	Pavimentos Porosos	Tanques de Almacenamiento	Zonas de Bio-retención
Filtros en los sumideros		C ¹	C ¹	C ¹	O	O		C ¹
SUDS Complementarios	Franjas de césped		C ²	C ²	C ²			C ²
Separador de aceites					C ¹		C ¹	
Trampa de Sedimentos	Antecámara		C ^{3,4}	C ⁴				C ^{1,3}
	Pozos de sedimentación				C ^{1,3,5}		C ^{1,5}	

(O) Estructura anexa de carácter obligatorio, (C) estructura anexa condicional a los siguientes criterios: (1) obligatoria, si el volumen de escorrentía se capta de un sumidero vial (ver [“NS-047 Notes Link Sumideros”](#)), (2) obligatoria, si el flujo de escorrentía ingresa de manera difusa, (3) obligatoria, si la escorrentía ingresa de forma puntual o concentrada, (4) obligatoria, si la tipología no hace parte de un tren de tratamiento, (5) obligatoria, si en el sitio no es posible construir de manera superficial.

4.6.1.1 Filtros en los sumideros

Usualmente corresponden a elementos laminares y porosos ubicados antes de la entrada de los sumideros, a través de los cuales se filtra el flujo de escorrentía, reduciendo la carga de contaminantes asociados a ésta, tales como: residuos, sedimentos, aceites y grasas, entre otros. Usualmente se ubican en los SUDS en que la escorrentía drena directamente de superficies impermeables (parqueaderos, vías y edificaciones) a sistemas de conducción de agua pluvial.

Esta estructura de pretratamiento es altamente efectiva en zonas con poco espacio disponible para la implementación de SUDS. Su uso sólo es recomendable si hace parte de un tren de tratamiento y el área de drenaje es pequeña (menor a 4000 m²), de forma que se evite la re-suspensión de contaminantes por volúmenes altos de escorrentía. Asimismo, los filtros deben contar con labores frecuentes de inspección y mantenimiento, para así garantizar su óptimo desempeño. La capacidad de estas estructuras usualmente corresponde al volumen de calidad (V_c) y se debe considerar un rebose para el manejo de volúmenes que excedan esta capacidad. El procedimiento de cálculo de este volumen se presenta en la sección 4.3 de la presente norma técnica.

Algunos de los filtros más usuales son los de tipo bandeja, tipo bolsa y tipo canasta. A continuación, se describe brevemente cada uno de estos filtros.

- Los filtros tipo bandeja son aquellos que se disponen previos a la entrada del sumidero, a manera de trampa y en forma de bandeja. En condiciones de diseño, la escorrentía ingresa primero en la bandeja, se filtra y luego se descarga al sumidero mediante un flujo de tipo vertedero. En caso de eventos fuertes de precipitación, el flujo de escorrentía pasa sobre la bandeja directamente hacia el interior del sumidero.
- Los filtros tipo bolsa corresponden a filtros de forma cónica y elaborados en tela porosa, los cuales se ubican colgando bajo la rejilla del sumidero para filtrar el flujo de escorrentía, antes de que éste ingrese al sumidero. Para manejar eventos superiores al evento de diseño, usualmente se dispone de grandes agujeros en la parte superior del filtro, para así descargar al sumidero el volumen de excesos.
- Finalmente, los filtros tipo canasta no son sólo estructuras con pequeños orificios que permiten filtrar residuos y sedimentos de gran tamaño, sino que además pueden estar constituidos de un material absorbente o adsorbente en el interior, para incrementar el desempeño del filtro. Al igual que con los filtros tipo bolsa, estos pueden presentar grandes agujeros en la parte superior del filtro, para manejar así el volumen de escorrentía en eventos extremos.

En cuanto a los requerimientos de mantenimiento, se debe hacer una limpieza mensual del filtro, así como la inspección del estado de todas las estructuras asociadas, realizando labores de mantenimiento correctivo en caso de ser necesario.

4.6.1.2 SUDS complementarios

Hacen referencia a tipologías de SUDS que pueden implementarse de manera individual, pero que en la práctica, usualmente se instalan de manera complementaria a otras tipologías de mayor complejidad para mejorar el desempeño de tratamiento de la escorrentía captada, y también para reducir en cierta medida la velocidad, volúmenes y caudales asociados a ésta.

(a) Franjas de césped

Corresponden a franjas extensas, densamente vegetadas, diseñadas para recibir el flujo de escorrentía de una zona impermeable. Se recomienda su implementación para SUDS que reciben la escorrentía de forma no concentrada o distribuida, como pavimentos porosos o cunetas verdes. Las franjas de césped pueden capturar alguna porción de sedimentos y contaminantes durante el paso de la escorrentía, debido a la interacción del flujo de agua con la vegetación asociada. Sin embargo, su implementación se recomienda en mayor medida para zonas de tránsito peatonal, áreas tributarias menores de 2 ha y con un ancho máximo de 25 m.

El proceso de diseño de esta estructura debe considerar distintos factores, los cuales se listan a continuación:

- Es fundamental minimizar el riesgo de que se presente flujo concentrado. Por este motivo, variables como la pendiente, la longitud de la franja y la longitud máxima del área tributaria se encuentran limitadas. A su vez, es necesario incluir estructuras para dispersar el flujo, las cuales pueden corresponder a bordillos perforados o enrocados de mínimo 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad, conformadas con agregados de 2.5 a 7.5 cm de diámetro.
- Es necesario disponer de un área para la acumulación de sedimentos, lo que determina la distancia de la superficie donde se dispone la franja de césped y el nivel de la superficie impermeable adyacente.
- La velocidad del agua en la estructura es un factor determinante para la sedimentación y para prevenir la erosión. Considerando los objetivos de control de la velocidad y minimización del flujo concentrado, se deben usar barreras de detención si la pendiente es mayor a 5%.
- Para obtener mejoras significativas en la calidad del agua se requiere un ancho mínimo. Por ejemplo, si se utilizan las cunetas verdes como estructuras de pretratamiento, las franjas de césped asociadas a éstas deben presentar un ancho mínimo de 1.2 m. Si bien pueden emplearse franjas de césped de un ancho menor, éstas pueden requerir de un mantenimiento más frecuente.

Tabla 17. Parámetros de diseño de franjas de césped

Parámetro	Valor	Unidades
Pendiente	< 10	%
Pendiente recomendada	1 - 5	%
Velocidad evento de diseño	< 0.3	m/s
Velocidad eventos extremos	< 1.5	m/s
Ancho	> 1.2	m
Longitud	> 4	m

Profundidad del agua	< 25	mm
Profundidad del agua recomendada	12.5	mm
Distancia nivel superficie impermeable y nivel superficie de las franjas de césped	5 – 15	cm
Tiempo de encharcamiento recomendado	24 – 48	h

En caso de que se desee implementar la estructura de pretratamiento sobre suelo compactado o poco fértil, es necesario excavar a una profundidad de 0.3 m y emplear compost para alcanzar un contenido orgánico de 8 a 15% peso/peso o de 30 a 40% volumen/volumen. El pre-dimensionamiento general de esta estructura anexa puede ser consultado en el Anexo B. Los requerimientos de mantenimiento e inspección de estas estructuras son mayores para los primeros dos años de operación, ya que en este periodo de tiempo la vegetación se está estableciendo. Por este motivo, las actividades iniciales de monitoreo y mantenimiento incluyen la inspección regular, el reemplazo de vegetación muerta o invasora y el riego, si es necesario. Posteriormente, las actividades que deben llevarse a cabo corresponden a la poda de la vegetación, aireación y remoción de residuos y sedimentos acumulados.

4.6.1.3 Separadores de aceites

Este tipo de estructuras se recomiendan cuando la escorrentía proviene de áreas donde hay productos de hidrocarburos (p. ej. áreas de almacenamiento, aparcamientos de camiones y aeropuertos) o en las que se presentan con regularidad derrames de aceites. Se recomienda ubicarlos cerca de las fuentes de contaminación para reducir la emulsificación y la formación de capas de sedimentos. Es posible que los sedimentos acumulados se resuspendan durante grandes eventos de tormenta, por lo que estas estructuras deben instalarse fuera de línea. Adicionalmente, debido a los problemas asociados a la falta de mantenimiento de la estructura, los separadores solo deben incluirse si se cuenta con un plan para su inspección y mantenimiento a largo plazo. A su vez, debe haber recursos disponibles para garantizar el mantenimiento regular por toda la vida útil del sistema.

Dado que estas estructuras operan por gravedad, no pueden ser empleadas para remover aceites disueltos o emulsificados, ni contaminantes como refrigerantes, lubricantes solubles, glicoles y alcoholes. Existen dos tipos de separadores, correspondientes a unidades de retención completa y separadores con bypass. En el primer caso, todo el caudal que entra es tratado y, en el segundo, la capacidad de la estructura se encuentra limitada a un cierto caudal, de tal modo que, si se tiene un caudal mayor al de diseño, éste es desviado al sistema de drenaje.

Pueden emplearse separadores prefabricados o contruidos in situ, los cuales usualmente se construyen en concreto. Por lo general, se diseñan para el tratamiento de un caudal específico, asociado a eventos con un periodo de retorno de un año y están conformados por una o más cámaras (ver Figura 14), donde la cámara de separación debe proveer almacenamiento para tres volúmenes distintos, los cuales se listan a continuación:

- Volumen para el almacenamiento del aceite separado en la parte superior de la cámara.
- Volumen para la acumulación de los sólidos sedimentables en el fondo de la cámara.
- Volumen para dar un tiempo adecuado de detención en línea para la separación de aceites y sedimentos presentes en el agua lluvia.

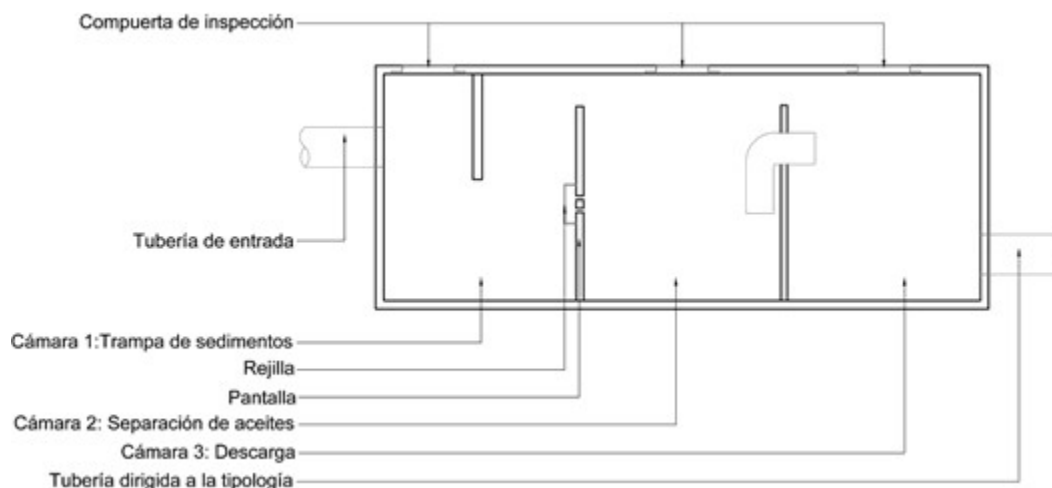


Figura 14. Esquema de separador de aceites

Estas estructuras se componen básicamente de:

- Una rejilla para evitar la entrada de basura y sedimentos de gran tamaño.
- Una cámara para sedimentos y sólidos.
- Una cámara para capturar aceites y grasas.
- Acceso para cada cámara, el cual debe contar con escalera de pates y ser de tamaño amplio.

Por otro lado, los separadores también se pueden clasificar en separadores convencionales y separadores de placas corrugadas. Estos últimos incluyen placas poco espaciadas, lo que permite aumentar la eficiencia de remoción y lograr la misma calidad del efluente, haciendo uso de menos espacio en comparación con un sedimentador convencional. Para el diseño de estos sistemas se deben utilizar las características presentadas en la Tabla 18. Adicionalmente, se debe incluir una antecámara para interceptar los desechos flotantes, así como una rejilla.

Tabla 18. Parámetros de diseño de separadores de aceites de placas corrugadas

Parámetro	Valor	Unidades
Ángulo recomendado	45 – 60	°
Espacio debajo de las placas	0.30	m
Altura sobre las placas para acumulación de aceite	0.15 – 0.30	m
Borde libre sobre las placas	0.30	m

4.6.1.4 Trampas de sedimentos

Este tipo de estructuras de pretratamiento generalmente corresponden a reservorios en los cuales se favorece la reducción de la velocidad del flujo de escorrentía, y, por lo tanto, la sedimentación de partículas gruesas y contaminantes, antes que éste ingrese a una tipología en particular. Estas trampas pueden ser superficiales o subterráneas, y a su vez, pueden estar separadas de la tipología o estar contenidas en la misma.

Es fundamental incluir en esta estructura un medidor o regla que permita estimar de manera sencilla el nivel de sedimento alcanzado en la estructura, y de esta manera determinar si se requieren o no de labores de mantenimiento. La función principal de las trampas de sedimentos es prolongar la vida útil de las tipologías a las cuales están asociadas, disminuyendo así la carga de sedimentos que entra a éstas. Los principales tipos de trampas de sedimentos son los pozos de sedimentación y las antecámaras.

(a) Antecámara

Esta estructura hace referencia a una pequeña cuenca o estanque de geometría rectangular o circular, localizada aguas arriba de la tipología de SUDS a la cual está asociada. La antecámara tiene como función principal reducir la carga de sedimentos que lleva el flujo de escorrentía, previo a su ingreso a la tipología, mejorando en algún grado y de manera anticipada la calidad del agua. Generalmente, esta trampa de sedimentos se encuentra contenida en la tipología y se separa de la parte principal mediante una berma de transición o una pared, de modo que la escorrentía se descarga a través de una tubería o un vertedero, favoreciendo de este modo, la retención de sedimentos, así como la reducción de la velocidad del flujo que entra a la tipología.

Esta estructura usualmente es revestida con enrocados y geotextiles, pero pueden emplearse otros materiales como concreto. Alternativamente, el fondo de la estructura puede ser permeable para permitir la infiltración de una fracción de la escorrentía que ingresa. En este caso el suelo debe contar con una tasa de infiltración de al menos 25 mm/h o disponer de una tubería perforada que evite que el agua se empoce por largos periodos de tiempo. Consideraciones adicionales de esta estructura se pueden encontrar en el Anexo B. La Tabla 19 presenta las dimensiones recomendadas para el diseño de antecámaras.

Tabla 19. Parámetros de diseño para antecámara

Parámetro	Valor	Unidades
Relación L/W	2:1 – 6:1	Relación H:V
Ancho (antecámara rectangular)	> 1	m
Diámetro (antecámara circular)	> 1.5	m
Profundidad	(1 – 1.5)*	m
Pendiente lateral mínima	3:1	Relación H:V
Ancho superior mínimo de la berma	1.5	m
Volumen recomendado	5 – 10	% del volumen de calidad de agua
*Estos valores permiten incrementar la eficiencia de remoción de sedimentos. Sin embargo, si se considera que esta profundidad representa un riesgo para los usuarios recurrentes del área a intervenir, valores menores de hasta 0.3 m resultan viables para el desempeño de la antecámara.		

Existen algunos procedimientos de cálculo, empleados para determinar la longitud de diseño de esta estructura anexa. Estos se presentan en detalle en el Anexo B. En relación con las labores de mantenimiento para esta estructura, se recomienda realizar un monitoreo periódico de la antecámara, evaluando el nivel de sedimentos alcanzado en cada inspección, para determinar la necesidad de remover los sedimentos almacenados y así restablecer su volumen útil. Por esta razón, resulta imprescindible, garantizar un acceso adecuado a la antecámara para facilitar la realización de las respectivas labores de mantenimiento.

(b) Pozos de sedimentación

Consisten en un pozo subterráneo con una piscina permanente que promueve la sedimentación de sólidos y su almacenamiento. Esta estructura puede incluir un deflector para retener aceites y sólidos flotantes. Se recomienda su uso cuando hay una alta carga de sedimentos gruesos en la escorrentía, y como estructura de pretratamiento de tipologías de infiltración para evitar la colmatación de la capa de grava y, por ende, la reducción en la infiltración.

El desempeño de la estructura depende de distintos factores como la profundidad, el tamaño de la partícula, la carga de sedimentos y la cantidad y tipos de residuos. Además, la frecuencia de

mantenimiento puede afectar su eficiencia, puesto que si los sedimentos no son removidos periódicamente puede haber resuspensión de partículas finas. Usualmente, se construyen en concreto reforzado y pueden ser colocados en serie para tener una mayor remoción antes de que la escorrentía ingrese a la tipología principal. Se recomienda colocar un codo de 90° en la tubería de salida para prevenir que el material flotante sea conducido al SUDS. En la Tabla 20 se presentan las dimensiones recomendadas para estas estructuras.

Tabla 20. Parámetros de diseño para pozos de sedimentación

Parámetro	Valor	Unidades
Díámetro	1.2	m
Profundidad	3.0	m
Profundidad de acumulación de sedimentos	1.8	m

4.6.2 Estructuras de entrada

Son estructuras que dirigen la escorrentía al interior de un SUDS cuando ésta no drena directamente hacia el sistema, de manera que se asegure el correcto funcionamiento de las tipologías implementadas (Ver Cuadro 10).

Cuadro 10. Estructuras de entrada típicas para cada tipología

Estructura de Entrada	Tipología						
	Alcorques Inundables	Cuenca Seca de Drenaje Extendida	Cunetas Verdes	Zanjas de Infiltración	Pavimentos Porosos	Tanques de Almacenamiento	Zonas de Bio-retención
Vado	C ¹		C ¹	C ¹			C ¹
Tubería		C ²	C ^{2,3}	C ^{2,3}	C ²	C ^{2,3}	C ^{2,3}

(C) Estructura anexa condicional a los siguientes criterios: (1) obligatoria, si en el diseño la escorrentía ingresa desde superficies impermeables (vías) a área adyacentes, (2) obligatoria, si la escorrentía se capta y concentra en tuberías y (3) obligatoria, si la tipología se localiza de forma intermedia en un tren de tratamiento.

4.6.2.1 Vado

Esta estructura anexa corresponde a una depresión en el borde de la vía, empleada generalmente como entrada lateral cuando la escorrentía generada en el área impermeable no ingresa de forma directa a la tipología. El diseño y la ubicación de los vados deben asegurar un drenaje uniforme al interior de la tipología, garantizando que no se concentre el agua en la estructura de salida. La ventaja de este tipo de estructuras radica en su capacidad de disminuir el riesgo de erosión en el suelo circundante.

El diseño de los vados puede presentar distintas variaciones, dependiendo del lugar de implementación y de la tipología asociada. No obstante, independiente del diseño se deben garantizar los siguientes aspectos: (1) el ancho de la apertura debe ser suficiente para minimizar el riesgo por erosión y/o flujo concentrado, (2) el borde debe encontrarse al mismo nivel que la superficie impermeable para prevenir el encharcamiento y la sedimentación, (3) el fondo del vado debe tener una pendiente orientada hacia el SUDS, y (4) se debe garantizar una diferencia mínima de nivel entre la superficie pavimentada y el suelo de la tipología, donde idealmente esta diferencia debe estar entre 0.05 m y 0.15 m. A continuación, se presentan de forma general los valores recomendados para el diseño de este tipo de estructura anexa.

Tabla 21. Parámetros de diseño de vado

Parámetro	Valor	Unidades
Ancho recomendado	0.45 - 0.60	m
Ancho	> 0.30	m
Distancia máxima entre vados	< 6	m
Número de vados	> 2	Vados
Distancia de accesos vehiculares	> 1.5	m
Distancia de intersecciones	> 6	m
Pendientes en el sitio de aplicación	≤ 5	%

Dado que estas entradas laterales son susceptibles a la erosión y obstrucción, se debe emplear los vados en conjunto con enrocados (Ver sección 4.6.3.1). El mantenimiento de los vados requiere de actividades orientadas a la limpieza de material acumulado y su inspección de manera mensual, así como de labores de mantenimiento de tipo correctivo en caso de presentar algún tipo de deterioro.

4.6.2.2 Tubería

Estas estructuras se emplean para descargar la escorrentía en el interior de la tipología cuando ésta previamente ha sido recolectada. La tubería debe ser diseñada para cumplir con distintos requisitos de diseño como los que se mencionan a continuación:

- Estar en capacidad de entregar el caudal máximo requerido.
- Ser de fácil mantenimiento.
- Contar con un sistema para prevenir bloqueos.
- Contar con un sistema para prevenir erosión.
- Minimizar el riesgo para las personas.
- Minimizar el riesgo para la vida silvestre.
- Ser visualmente ameno o neutral.
- Minimizar el riesgo por vandalismo.

Adicionalmente, en el diseño es necesario considerar la fuente de donde proviene la escorrentía captada, para considerar cual debería ser la frecuencia de mantenimiento de la tubería. Si se requiere emplear una tubería de diámetro grande es necesario implementar elementos adicionales como cabezales de concreto y rejillas de seguridad. La inclusión de estos elementos no debe ir en detrimento de aspectos como el mantenimiento y la amenidad, por lo cual se debe buscar que el cabezal también se integre con el paisaje adyacente y que las estructuras no interfieran con las actividades de mantenimiento. Adicionalmente, se debe garantizar que la estructura cuente con accesos adecuados para su mantenimiento. El diseño de las tuberías debe seguir los lineamientos de las normas de la Empresa de Acueducto: [“NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado”](#) y [“NP-027 Notes Link Tuberías para Alcantarillado”](#).

En caso de que sea necesario disponer de un cabezal, éste se debe diseñar de acuerdo con la norma [“NS-142 Notes Link Esquemas típicos de cabezales entrega a canales en redes de alcantarillado”](#), en donde se establecen las características de los cabezales de entrega según el tamaño de la tubería y de los elementos de disipación de energía. Por otro lado, si la escorrentía se captura mediante un sumidero dispuesto en una vía se debe considerar la norma [“NS-047 Notes Link Sumideros”](#) para el diseño de éste, y la [“EC-301 Notes Link Especificación técnica de construcción de pozos de inspección”](#) para los aspectos de construcción. Es importante resaltar que en caso de que se considere apropiado, algunas de estas estructuras se pueden proteger por medio de rejillas para evitar así acciones de robo o vandalismo.

4.6.3 Estructuras anexas a la estructura de entrada

Este tipo de estructuras corresponden usualmente a aquellas que se disponen en conjunto con las estructuras anexas de entrada, con el fin de evitar inconvenientes en el proceso de conducción e ingreso de la escorrentía hacia las diferentes tipologías. Este tipo de estructuras presentan ventajas asociadas a la disipación de energía, redireccionamiento y distribución de flujo. Mediante las unidades de disipación es posible la reducción de velocidad de flujo, de modo que se puede proteger el suelo contra la erosión en la entrada y salida de la tipología.

Cuadro 11. Estructuras anexas a la estructura de entrada típicas para cada tipología

Estructuras anexas a la estructura de entrada		Tipología						
		Alcorques Inundables	Cuenca Seca de Drenaje Extendida	Cunetas Verdes	Zanjas de Infiltración	Pavimentos Porosos	Tanques de Almacenamiento	Zonas de Bio-retención
Disipador de energía	Enrocado	C ¹	C ¹	C ¹				C ¹
	Barreras de detención			C ²		C ³		
Distribuidor de flujo			C ⁴	C ⁴				C ⁴
Bypass (aliviadero)		C ⁵	C ⁵	C ⁵	C ⁵		C ⁵	C ⁵

(C) estructura anexa condicional a los siguientes criterios: (1) obligatoria, si la escorrentía proviene de una estructura anexa de entrada que concentre el flujo, (2) obligatoria, si la pendiente es mayor a 2%, (3) obligatoria, si en el predimensionamiento lo requiere (ver sección 4.5.5), (4) obligatoria, si el flujo de escorrentía ingresa de forma concentrada y (5) obligatoria, si la tipología no está en capacidad de manejar el caudal de diseño para sistemas de alcantarillado pluvial, de acuerdo con la norma de la EAB-ESP ["NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado"](#).

4.6.3.1 Disipadores de energía

Corresponden a sistemas que logran reducir la velocidad del flujo, de forma que se protege de la erosión las áreas correspondientes a la entrada y/o salida de los SUDS. Para llevar esto a cabo, existen diferentes alternativas, como la reducción del gradiente de las tuberías, el uso de enrocados, piedras sueltas, gaviones, adoquines de granito, estanques amortiguadores de concreto y/o barreras de detención.

(a) Enrocado

Los enrocados consisten en un conjunto de capas de piedra que reducen la velocidad de flujo de entrada y/o salida de las tipologías de SUDS, aumentando la rugosidad del canal por el que fluye la escorrentía. Adicionalmente, se puede seleccionar el tipo granulometría de las rocas de modo que se controle la porosidad. Este tipo de estructuras permiten atrapar residuos y sedimentos de la escorrentía en la entrada y/o salida de las tipologías en las que se implemente.

El diseño de los enrocados depende de cada tipología y/o estructura anexa de entrada a la cual esté asociado. No obstante, se recomienda que éstos presenten como mínimo el ancho mismo de la estructura de entrada asociada, un grosor de 2.5 a 5 cm y una longitud mínima de 0.6 m. Esta estructura complementaria, además de emplearse como disipador de energía, también puede cumplir la función de trampa de sedimentos; sin embargo, solo se pueden considerar como elementos aceptables de pretratamiento cuando el área de drenaje es pequeña (< 100 m²).

(b) Barreras de detención

Estas estructuras consisten en pequeñas barreras construidas con rocas, concreto, madera o grava, ubicadas de manera perpendicular a la dirección de flujo, que tienen como objetivo reducir la velocidad de la escorrentía e incrementar el tiempo de retención del agua antes de que ésta ingrese a una tipología. Lo anterior permite mejorar la calidad del agua ya que se promueven los procesos

de sedimentación e infiltración. También se emplean para reducir la pendiente efectiva del terreno a intervenir, lo que permite implementar algunos SUDS en áreas donde la pendiente es mayor a la recomendada

Para desarrollar el diseño de este tipo de estructuras se deben considerar parámetros como la distribución de las barreras. Para seleccionar adecuadamente esta variable es necesario tener en cuenta que el fondo de la barrera aguas arriba debe estar al mismo nivel que la parte superior de la barrera aguas abajo. Igualmente, otro parámetro a establecer es el espaciamiento entre barreras. Para esto, se puede dividir la altura de la barrera entre la pendiente.

A su vez, si se hace uso de estas estructuras en una cuneta verde con una pendiente mayor a la recomendada se puede emplear la siguiente ecuación para definir el espaciamiento máximo en función de la pendiente del terreno, la pendiente efectiva de diseño (donde el valor recomendado es 2%) y la altura de la barrera:

$$L_b = \frac{H_b}{S_d - S}$$

Donde L_b = Distancia entre las barreras de detención (m), H_b = Altura de la barrera de detención (m), S_d = Pendiente longitudinal (m/m) y S = Pendiente efectiva de diseño (m/m).

En este caso se recomienda una barrera de detención de máximo 0.30 m, pero si la pendiente longitudinal es mayor a 5% puede que se requieran barreras más altas. Adicionalmente se debe realizar una revisión de las paredes de la barrera de detención y una limpieza general de éstas, ya que pueden sufrir deterioro por erosión o corrosión.

4.6.3.2 Distribuidores de flujo

Los distribuidores de flujo corresponden a estructuras que reducen la velocidad, y distribuyen de manera homogénea el flujo que ingresa a una tipología. Deben implementarse como parte de un sistema que incluye una estructura de pretratamiento, por ejemplo, una antecámara, y un área vegetada aguas abajo del distribuidor. Generalmente están constituidos por zanjas o canales que disipan energía y conducen el agua a través de una berma hacia los SUDS compatibles. El diseño de estas estructuras debe cumplir con los parámetros expuestos en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Parámetros de diseño de distribuidor de flujo

Parámetro		Valor	Unidades
Periodo de retorno del evento de diseño		10	años (evento de 24 horas)
Longitud mínima		3	m
Longitud máxima		6	m
Longitud	Áreas con cobertura vegetal alta	14	m por cada 0.1 m³/s
	Áreas con cobertura vegetal baja	107.6	m por cada 0.1 m³/s
Pendiente área vegetada	Áreas con cobertura vegetal alta	≤ 8	%
	Áreas con cobertura vegetal baja	≤ 6	%

Es fundamental realizar de manera mensual la remoción de residuos acumulados con el fin de evitar obstrucciones en el flujo. Así mismo, debe programarse mantenimiento correctivo en caso de que se presenten daños en las estructuras.

4.6.3.3 Bypass (aliviadero)

Es una estructura empleada para desviar grandes volúmenes de agua a sistemas de almacenamiento o canales de drenaje alternativos, en casos donde la capacidad de diseño de la tipología es excedida, evitando así daños por inundación.

Para el diseño de este tipo de sistemas debe garantizarse que el volumen adecuado es retenido en la ruta de drenaje principal y que los volúmenes mayores son desviados con un incremento mínimo en la cabeza en la estructura de bypass para evitar sobrecargar el drenaje principal bajo condiciones de flujo alto. Existen diferentes alternativas de acuerdo con las características y los requerimientos particulares de la zona, así como de la estructura que se use para conducir la escorrentía. De este modo, si la escorrentía es conducida al SUDS mediante una cuneta verde, el flujo puede desviarse de manera superficial mediante un vertedero de cresta ancha. En cualquier caso, para el diseño de esta estructura se debe seguir los lineamientos estipulados en el “[Titulo D del RAS](#)”.

4.6.4 Estructuras de salida

Este tipo de estructuras anexas se ubican en la parte final de la tipología, con el objetivo principal de controlar el volumen de escorrentía que sale de la misma. De modo que se garantice una descarga regulada y se evite la resuspensión de sedimentos y contaminantes ya sedimentados en la tipología (ver Cuadro 13).

Cuadro 13. Estructuras de salida típicas para cada tipología

Estructura de salida		Tipología						
		Alcorques Inundables	Cuenca Seca de Drenaje Extendida	Cunetas Verdes	Zanjas de Infiltración	Pavimentos Porosos	Tanques de Almacenamiento	Zonas de Bio-retención
Estructura de control de flujo	Orificio	O	C ¹	C ¹				O
	Tubo vertical perforado		C ²					
	Culvert y tuberías	O	O	O	O	O	O	O
Vertedero de excesos		C ³	C ³	C ³	C ³	C ³	C ³	C ³
Vertedero de emergencia			C ⁴	C ⁴				

(O) Estructura anexa de carácter obligatorio, (C) estructura anexa condicional a los siguientes criterios: (1) obligatoria, si la tipología cuenta con tubería perforada (2) obligatoria, si el diseño no cuenta con placa perforada, (3) obligatoria, si no hay bypass y (4) obligatoria, si el área de drenaje del tren de SUDS es mayor a 100000 m² (10 ha).

4.6.4.1 Estructuras de control de flujo

Las estructuras de control de flujo corresponden a aquellas que permiten controlar el flujo de agua que sale de la tipología, garantizando así la disminución de la descarga aguas abajo de la estructura de salida. Dentro de este tipo de estructuras se encuentran los orificios, tubo vertical perforado (Riser), el culvert y las tuberías.

(a) Orificio

Consisten en aberturas rectangulares o circulares dispuestas en la parte final de las tipologías compatibles (Ver Figura 15), para descargar la escorrentía hacia el drenaje convencional, u otro tipo de SUDS. El orificio se puede orientar de manera horizontal cuando éste se encuentra a nivel del suelo o corresponde a la parte superior de una tubería vertical. Asimismo, se puede implementar de manera vertical cuando éste esté a la entrada de una tubería de salida.

El orificio tiene comportamientos distintos si está o no sumergido. Consecuentemente, el diseño debe realizarse según las siguientes condiciones de operación:

- Caso no sumergido: Este caso ocurre cuando la altura sobre el centro del orificio es menor que la mitad del diámetro del mismo. La ecuación que gobierna esta situación es:

$$Q_o = C_w (\pi \cdot D) \cdot (H - E_o)^{1.5}$$

Donde, C_w = Coeficiente del vertedero de 0.6 si el orificio es de pared delgada y 0.8 si el orificio es de pared gruesa (adimensional), H = Altura del agua (m), D = Diámetro del orificio (m), Q_o = Caudal de salida (m^3/s) y E_o = Altura del centro del orificio (m).

- Caso sumergido: La ecuación que determina el diseño de la estructura en este caso se es:

$$Q_o = C_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - E_o)}$$

Donde, C_o = Coeficiente del orificio de 0.92 (adimensional), H = Altura del agua (m), Q_o = Caudal de salida (m^3/s), E_o = Altura del centro del orificio (m), A_o = Área del orificio (m^2) y g = Gravedad (m/s^2).

En cuanto a mantenimiento, se debe realizar una limpieza semestral con el fin de evitar obstrucciones en el flujo y funcionamientos deficientes en la tipología asociada. Además, deberán programarse actividades de mantenimiento correctivo en caso de ser necesario.

(b) Tubo Vertical

Corresponden a tubos verticales con perforaciones que se implementan para tiempos de detención extendidos. La parte superior de estas estructuras puede estar abierta, contar con una rejilla y una placa anti-vórtice, de modo que se minimice el riesgo por taponamiento y flujos no controlados, respectivamente.

El diseño de estos sistemas se basa en el flujo a través de un orificio. La siguiente ecuación permite estimar caudales de salida para el caso en que la tubería de salida presente una mayor capacidad que la del tubo vertical perforado (ver Figura 15):

$$Q = C_h \cdot \left(\frac{2 \cdot A_o}{3 \cdot H_s} \right) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H)^3}$$

Donde, C_h = Coeficiente del orificio, A_o = Área de los orificios (m^2), Q = Caudal de salida (m^3/s), s = Distancia vertical entre los orificios (m), H = Altura del agua medida desde $s/2$ bajo la línea central del orificio más bajo hasta la superficie del agua (m), H_s = Distancia desde $s/2$ bajo la línea central del orificio más bajo hasta $s/2$ sobre la línea central del orificio más alto (m), y g = Gravedad (m/s^2).

El procedimiento de diseño debe realizarse mediante un cálculo iterativo tomando en consideración los siguientes pasos:

- Determinar las características del tubo vertical perforado: La fila inferior de orificios debe encontrarse a 0.15 cm del fondo.
- Se deben establecer las características de la tipología y el tubo vertical perforado como se indica en la Tabla 22.

Tabla 22. Características de la tipología y el tubo vertical perforado.

Parámetro	Unidades
Coeficiente del orificio (C_h)	-
Diámetro de los orificios (D_o)	m
Área total de los orificios (A_o)	m^2
Gravedad (g)	m/s^2
Longitud del fondo de la tipología (L_f)	m
Ancho del fondo de la tipología (W_f)	m
Pendiente lateral (Z)	-
Área del fondo de la tipología (A_f)	m^2

- Calcular la constante k presentada en la siguiente ecuación:

$$k = C_h \cdot \left(\frac{2 \cdot A_o}{3 \cdot H_s} \right) \cdot \sqrt{2g}$$

Donde k = Constante (m^2/s), C_h = Coeficiente del orificio, A_o = Área de los orificios (m^2), Q = Caudal de salida (m^3/s), H_s = Distancia desde s/2 bajo la línea central del orificio más bajo hasta s/2 sobre la línea central del orificio más alto (m), donde s = Distancia vertical entre los orificios (m) y g = Gravedad (m/s^2).

- Determinar el tiempo de drenaje para evaluar si éste es mayor o menor al valor objetivo recomendado de acuerdo con cada tipología. Si el tiempo de drenaje es menor debe incrementarse el valor de k y si es mayor debe disminuirse dicho valor hasta que se obtenga el tiempo requerido. Las ecuaciones relacionadas se presentan a continuación:

$$h_i = E_o - E_{i+1}$$

Donde h_i = Cambio en la altura (m), E_o = Altura inicial (m) y E_{i+1} = Altura posterior evaluada (m).

$$Q_i = k \cdot (h_i)^{3/2}$$

Donde Q_i = Caudal promedio de salida (m^3/s), h_i = Cambio en la altura (m) y k = Constante (m^2/s).

$$A_i = L_i \cdot W_i$$

Donde A_i = Área superficial de la tipología a la altura analizada (m^2), L_i = Longitud de la tipología a la altura analizada (m) y W_i = Ancho de la tipología a la altura analizada (m).

$$V_i = A_i \cdot h_i$$

Donde V_i = Volumen disponible (m^3), A_i = Área superficial de la tipología a la altura analizada (m^2) y h_i = Cambio en la altura (m).

$$T_i = \frac{V_i}{Q_i} \cdot 3600$$

Donde T_i = Tiempo promedio de drenaje (h), V_i = Volumen disponible (m^3) y Q_i = Caudal promedio de salida (m^3/s).

$$T_T = \sum_{i=1}^n T_i$$

Donde T_T = Tiempo total de drenaje (h), T_i = Tiempo promedio de drenaje (h) y n = número total de alturas evaluadas.

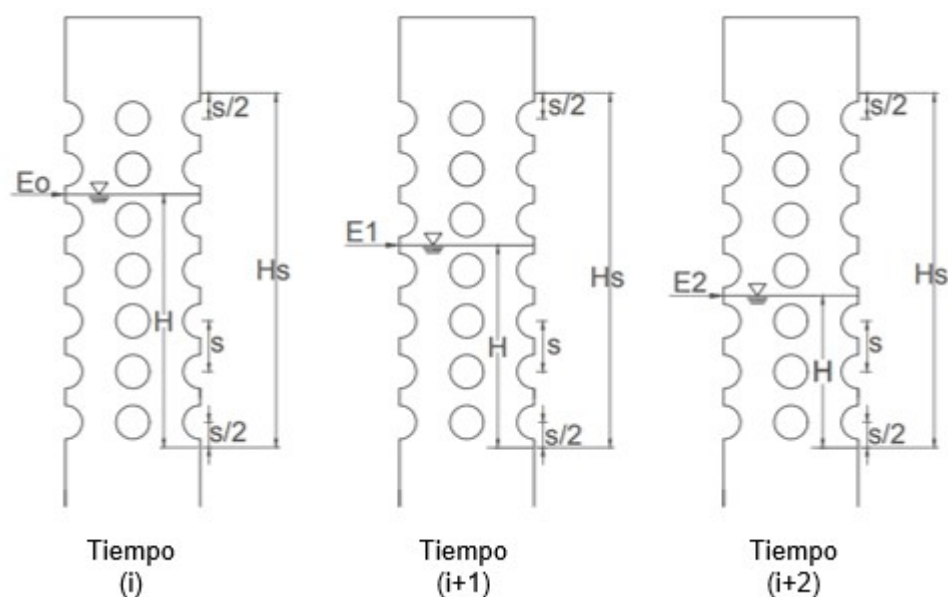


Figura 15. Variación de la altura a través del tiempo en tubo vertical perforado

- Determinar el número y tamaño de las columnas de orificios, lo cual depende directamente del valor de la constante k definida en el paso anterior. Para esto es necesario:
 - (a) Seleccionar un número inicial de filas, orificios por filas y diámetro de los orificios.
 - (b) Calcular el área de flujo por fila.
 - (c) Definir un valor para el coeficiente del orificio (C_h) y la distancia desde $s/2$ bajo la línea central del orificio más bajo hasta $s/2$ sobre la línea central del orificio más alto (H_s).
 - (d) Establecer el valor de k .
 - (e) Comparar el valor de k con el definido en el paso 3. En caso de que sea diferente variar las dimensiones supuestas y repetir el procedimiento. Se debe tener en cuenta que el valor del diámetro recomendado es mínimo 6.4 mm (0.25 pulgadas).

Para garantizar el adecuado funcionamiento de esta estructura se deben programar labores de mantenimiento semestralmente con el fin de evitar obstrucciones y averías en el sistema. Asimismo, se debe contar con actividades correctivas en caso de sufrir deterioro o malfuncionamientos.

(a) Culvert y tuberías

Corresponden a un conducto que se utiliza para dirigir el agua lluvia a través de avenidas y vías. Son empleados como estructuras de salida en las tipologías descritas en el Cuadro 13, ya que son sistemas eficientes para el control del flujo y pueden tener diferentes formas y configuraciones. El comportamiento de los culverts depende de las características de flujo, ya que se debe determinar si se tiene control a la entrada o salida del sistema.

El control de entrada se presenta por lo general cuando se tiene una alta pendiente y salida libre, entretanto el control de salida es característico en culverts largos y rugosos, en los que la altura aguas abajo constituye un factor considerable. El diseño y las actividades monitoreo de estas estructuras debe seguir la siguiente normatividad de la Empresa de Acueducto: ["NP-102 Notes Link Box culvert prefabricado en concreto reforzado"](#), ["NP-027 Tuberías para Alcantarillado"](#) y ["EM-602 Notes Link Limpieza de tuberías, Box Culvert y estructuras de alcantarillado"](#).

4.6.4.2 Vertedero de excesos

Los vertederos de excesos son estructuras empleadas para descargar el agua una vez el volumen de almacenamiento se ha ocupado totalmente. Pueden no ser requeridos si se trata de una estructura que opera fuera de línea o si la estructura de entrada cuenta con un sistema de bypass para el caso en que el SUDS ha alcanzado su máxima capacidad de almacenamiento. Cabe anotar que los vertederos también pueden emplearse como estructuras para el control del flujo y debe diseñar de acuerdo con lo estipulado en el "Título D del RAS".

Existen dos tipos principales de vertederos excesos correspondientes a los vertederos de cresta ancha y los vertederos de cresta delgada. A su vez estos se clasifican de acuerdo con su forma en rectangulares, triangulares, trapezoidales, entre otros. Por lo general, los vertederos de cresta ancha suelen ser más empleados como vertederos de excesos debido a su mayor durabilidad. En caso de que se tenga un vertedero rectangular la longitud aproximada requerida para un caudal máximo determinado puede establecerse a partir de la siguiente ecuación:

$$L_v = \frac{Q}{C_v \cdot (H - E_v)^{3/2}}$$

Donde L_v = Longitud del vertedero (m), Q = Caudal de salida (m^3/s), C_v = Coeficiente del vertedero, H = Altura total del agua (m) y E_v = Altura del vertedero (m).

4.6.4.3 Vertedero de emergencia

Este tipo de vertedero se emplea en aquellos casos en los que se cuenta con una topografía adecuada y es posible realizar una descarga del caudal pico sin causar erosión considerable aguas abajo. Los vertederos de emergencia se utilizan para conducir caudales extremos que superan el evento de diseño bajo el cual se dimensiona el vertedero de excesos. A su vez, se utilizan para prevenir desbordamientos y posibles daños subsecuentes en los diques, asociados a problemas en las estructuras de salida.

Por lo general, se diseñan para manejar un caudal asociado a la escorrentía producida en una cuenca totalmente desarrollada por un evento de lluvia con un periodo de retorno de 100 años. Sin embargo, si el riesgo asociado por la falla de la estructura es alto, es posible que se requiera considerar un periodo de retorno mayor.

La construcción de este vertedero no debe afectar la percepción de amenidad y paisajismo creada por la implementación del SUDS al cual está asociado. Por lo tanto, éste debe estar vegetado y debe incluir un canal de entrada, una sección de control (correspondiente al vertedero) y un canal de salida. A su vez, la vegetación dispuesta en el vertedero debe corresponder a vegetación resistente a la erosión. Éste debe ser construido a partir del terreno existente y es fundamental evitar el uso de la berma o dique dispuesto en el perímetro para su construcción. En caso de que esto no sea posible debido a restricciones como la topografía, se debe considerar incrementar el tamaño del vertedero de excesos o hacer uso de un vertedero recubierto con material no erosionable, el cual debe ser diseñado por un ingeniero con experiencia en este tipo de estructuras. Esta estructura se debe diseñar de acuerdo con lo estipulado en el "Título D del RAS".

4.6.5 Estructuras anexas a la estructura de salida

Este tipo de estructuras corresponden usualmente a aquellas que se disponen en conjunto con las estructuras anexas de salida, con el fin de evitar inconvenientes en el proceso de descarga de la escorrentía hacia cuerpos de agua receptores, otra tipología de SUDS o sistema de drenaje convencional.

Cuadro 14. Relación estructuras anexas de salida con las tipologías

Estructuras anexas a las estructuras de salida		Tipologías					
		Alcorques Inundables	Cuenca Seca de Drenaje	Cunetas Verdes	Zanjas de Infiltración	Pavimentos Porosos	Tanques de almacenamiento
Tubería perforada		C ¹		C ²	C ¹	C ¹	C ¹
Micropiscina			O				
Drenaje de mantenimiento			C ³				O
Rejilla para estructuras de salida		C ⁴	C ⁴		C ⁴	C ⁴	C ⁴
Disipador de energía	Enrocado		C ⁵	C ⁵			
	Tanque amortiguador		C ⁶				

(O) Estructura anexa de carácter obligatorio, (C) estructura anexa condicional a los siguientes criterios: (1) obligatoria, si la tipología tiene restricciones de infiltración y de esta forma la fracción de volumen que no se pudo infiltrar debe ser evacuada mediante esta estructura anexa, (2) obligatoria, si la pendiente es menor a 1%, (3) obligatoria, si la tipología tiene micropiscina, (4) obligatoria, cuando la estructura de salida se ubique de manera superficial y reciba de forma directa el flujo de escorrentía, (5) obligatoria, cuando la escorrentía se descargue puntualmente a un cuerpo de agua receptor y (6) obligatoria, de acuerdo con los lineamientos de la norma de la EAB-ESP [“NS-142 Notes Link Esquemas típicos de cabezales entrega a canales en redes de alcantarillado”](#).

4.6.5.1 Tubería perforada

Se refiere a tuberías perforadas de geometría cilíndrica o semicircular, usualmente de metal corrugado galvanizado ubicadas en un medio granular. Éstas tienen como función conducir la escorrentía tratada a la salida de las diferentes tipologías, con el fin de facilitar el drenaje del agua que no puede filtrarse en el tiempo requerido y/o minimizar el volumen de agua estancado en la tipología asociada. Esta estructura se utiliza en tipologías que presentan capa de drenaje.

Se sugiere implementar tuberías con un diámetro de 10 cm, un espaciamiento máximo de 6 m y el diámetro de los orificios mayor a 1 cm. Igualmente, se recomienda que la capa de drenaje presente una altura mínima de 0.25 m, con una profundidad mínima de esta capa sobre la tubería de 15 cm y bajo la tubería de 8 cm. Adicionalmente, se sugiere implementar tuberías de Polietileno (flexibles y corrugadas) o PVC (rígidas y lisas). Para un mayor detalle en su diseño se sugiere ver la norma del Acueducto Bogotá: [“NS-122 Notes Link Aspectos técnicos para diseño y construcción de subdrenajes”](#) y la documentación del INVIAS: [“Manual de drenaje para carreteras”](#) y [“Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras”](#).

En el momento de realizar la instalación de tuberías perforadas, se recomienda cubrirlas con una capa de suelo superficial filtrante que permita crear un entorno de suelo estable y altamente permeable, y a su vez favorezca la alineación de la tubería y evite la sedimentación. Para especificaciones puntuales de esta capa, se sugiere tomar en consideración la documentación del INVIAS: [“Manual para materiales para sistemas de drenaje subterráneo”](#). Adicionalmente, se recomienda que la instalación de las tuberías se realice preferiblemente en condiciones de suelo no saturado, con el nivel freático por debajo de la profundidad de instalación y nunca en períodos de humedad generalizada.

En caso de pequeñas obstrucciones, la limpieza de este tipo de tuberías puede realizarse mediante un desatascado en seco usando varillas acopladas, con un rascador en el extremo, que se introducen en la tubería perforada y después se retiran. Para obstrucciones mayores, se pueden utilizar técnicas con agua a presión. Para esto, se sugiere inyectar entre 1 y 2 m³ de agua por cada 100 m de tubería

con una velocidad constante de 0.3 m/s. Por último, se recomienda inspeccionar la tubería con una frecuencia trimestral, durante los dos primeros años de funcionamiento, luego de este tiempo, es posible extender esta frecuencia de manera semestral.

4.6.5.2 Micropiscina

Esta estructura consiste en una pequeña piscina con una lámina de agua permanente, cuya función es evitar la resuspensión de sedimentos e incrementar la eficiencia de remoción de contaminantes por medio de la absorción biológica. Por lo general la micropiscina se implementa a la salida de tipologías tales como cuencas secas de drenaje extendido.

Para el diseño de esta estructura, se debe determinar el volumen asociado a la lámina de agua permanente y el volumen de recarga. El primero hace referencia al volumen almacenado por la generación de escorrentía de eventos de lluvia de baja magnitud y alta frecuencia. El segundo corresponde al volumen de escorrentía generado por eventos de baja magnitud, que es conducido a través del canal de caudales bajos. Éste eventualmente, renovará el volumen de la micropiscina permanente, lo que evitará el estancamiento de agua en la misma, evitando la proliferación de insectos. El diseño de estas estructuras debe seguir cómo mínimo las siguientes consideraciones:

Tabla 23. Parámetros de diseño de micropiscina

Parámetro	Valor	Unidades
Pendiente lateral	3:1	H:V o paredes verticales
Profundidad mínima	0.2	M
Área superficial mínima	1	m ²
Material del fondo	Concreto*	-
*Excepto si hay flujo base o agua subterránea		

A la salida de la micropiscina usualmente se debe incluir una estructura de placa perforada con rejilla para regular el drenaje del volumen de diseño y un dique de desbordamiento para la evacuación controlada del caudal de desbordamiento (asociado periodo de retorno de 10 años). En la Figura 16 y la Figura 17 se detalla la micropiscina, con una profundidad de la lámina de agua permanente (d_{mp}), y una profundidad de recarga (d_r), asociada al volumen de recarga. Los esquemas corresponden a un diseño desarrollado a partir de un volumen de control de calidad de agua (V_c) y de un volumen de control de inundaciones (V_i), respectivamente.

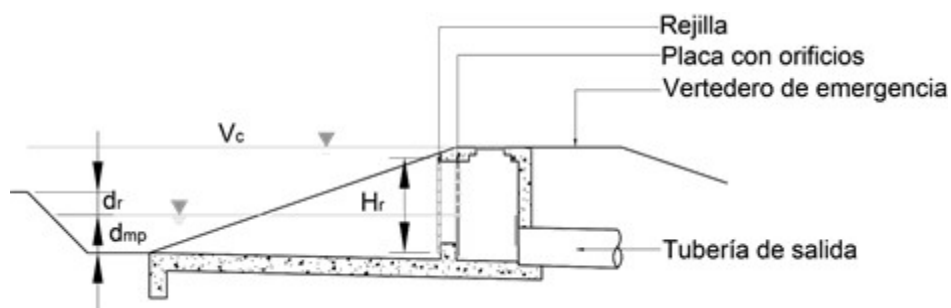


Figura 16. Micropiscina y estructura de salida para una estructura diseñada a partir del volumen de calidad de agua.

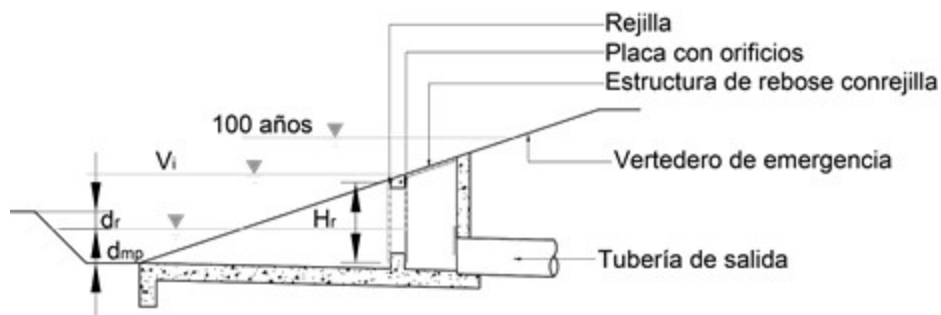


Figura 17. Micropiscina y estructura de salida para una estructura diseñada a partir del volumen de control de inundaciones.

Debido a que en este tipo de estructuras se pueden acumular sedimentos y desechos, es necesario realizar la remoción de este material cuando sea requerido, con el fin de utilizar la totalidad del volumen de la micropiscina y mantener el correcto funcionamiento de la estructura. Igualmente, a causa de la humedad constante del suelo que rodea a la micropiscina, se puede generar el crecimiento de maleza. Ésta debe ser removida de forma rutinaria para evitar la acumulación de sedimentos y residuos, y la afectación estructural del sistema. Además, es necesario realizar tratamiento químico y mecánico a la micropiscina con el fin de evitar malos olores debido a la descomposición de la vegetación acuática y la proliferación de mosquitos.

4.6.5.3 Drenaje de mantenimiento

Estructura empleada para drenar el volumen escurrimiento en tipologías que tengan capacidad para almacenar agua o tipologías que cuenten con una lámina de agua permanente, para efectuar de manera apropiada labores de seguimiento y mantenimiento de la estructura. En el caso de los tanques se pueden emplear tanto para facilitar el mantenimiento como para drenarlo en anticipación a un evento de tormenta, lo cual permite incrementar la atenuación del caudal pico. El diseño de esta estructura debe seguir la norma [“NS-062 Notes Link Criterios generales para el diseño de tanques”](#).

4.6.5.4 Rejilla para estructuras de salida

Las rejillas permiten el paso del agua e impiden la salida de partículas flotantes o de gran tamaño de las tipologías de SUDS. El diseño de esta estructura consiste en un marco o placa de metal, concreto o plástico con perforaciones. Dependiendo del tamaño de las perforaciones, orificios o vacíos éstas pueden ser empleadas como mecanismos de captura de contaminantes (a) o como estructuras de protección para la estructura de rebose (b) que puede corresponder con un vertedero de excesos.

(a) Rejilla de basuras

Este tipo de rejilla consiste en una placa perforada que favorece la reducción de sedimentos a la salida de la tipología de SUDS, mejorando de este modo la calidad del agua y extendiendo la frecuencia de mantenimiento de las tuberías de salida del SUDS. Para el dimensionamiento de este tipo de rejillas se debe tener en cuenta el área superficial de la rejilla (A_{sr}), el área total de los orificios por donde pasa flujo de agua (A_{to}) y el diámetro o ancho de los orificios (D). Existen dos alternativas de cálculo para determinar el área superficial de la rejilla (A_{sr}), considerando si el SUDS al que se encuentra asociada la rejilla (1) se diseñó mediante el volumen de calidad (V_0) o (2) si se diseñó mediante el volumen de control de inundaciones (V_i).

$$(1) A_{sr1} = A_{to} \cdot 38.5 \cdot e^{-3.74 \cdot D}$$

$$(2) A_{sr2} = A_{to} \cdot 77 \cdot e^{-4.88 \cdot D}$$

Donde A_{sr} = Área de la superficie de la rejilla (m^2), A_{to} = Área total de los orificios de salida (m^2) y D = Diámetro de los orificios circulares (D_{rc}) o ancho de los orificios rectangulares de salida (W_o) (m).

Luego, se debe determinar la altura de la rejilla (H_r), la cual debe estar en un rango aproximado de 0.1 a 0.6 m. Esta variable, depende de la profundidad del flujo de agua. Para el caso de cuenca seca de drenaje, se debe incluir la profundidad de la lámina permanente de la micropiscina.

$$H_r = d + d_{mp}$$

Donde H_r = Altura de la rejilla (m), d = Profundidad del flujo (m^3) y d_{mp} = profundidad de la rejilla bajo la piscina permanente (m). (*) Sólo aplica para la tipología de cuenca seca de drenaje extendido.

El ancho mínimo de la rejilla (W_{min}) depende de factores como la forma y el tamaño de los orificios. En un principio se debe emplear la ecuación (I) para calcular esta variable. Luego, dependiendo si el resultado es mayor o no a 0.6 m y de la geometría del orificio (circular o rectangular) se determina si la ecuación (I) es la más conveniente o se debe utilizar la ecuación (II). La Tabla 24 resume este procedimiento. En cualquier caso, el ancho mínimo de la rejilla (W_{min}) debe ser mayor o igual a 30 cm, y, por lo tanto, los resultados sólo son validos para orificios con un ancho o diámetro menor a 30 cm.

Tabla 24. Cálculo del ancho mínimo de acuerdo con la forma de los orificios.

Forma del orificio	Resultado (1)	Ecuación para el cálculo del ancho mínimo
Circular (Diámetro $\leq$ 3.2 cm)		Ancho mínimo (W_{min}) = 30 cm
Circular (Diámetro > 3.2 cm)	< 0.6 m	1
Circular (Diámetro > 3.2 cm)	$\geq$ 0.6 m	2
Rectangular	< 0.6 m	1
Rectangular	$\geq$ 0.6 m	2
		(I) $W_{min} = \frac{A_{sr}}{0.71 \cdot H_r}$ (II) $W_{min} = \frac{A_{sr}}{0.77 \cdot H_r}$

Donde H_r = Altura de la rejilla (m), W_{min} = Ancho mínimo de la rejilla (m) y A_{sr} = Área de la superficie de la rejilla (m^2).

Por otra parte, el espaciamiento recomendado para las rejillas depende del tamaño del orificio. Para orificios rectangulares y circulares mayores a 3.2 cm se recomienda un espaciamiento de 5 cm si el ancho o el diámetro del orificio es menor a 11 cm, en caso de que sea mayor, el espaciamiento debe ser de 10 cm.

Al tener como función retener o detener residuos de gran tamaño, se recomienda remover residuos flotantes mensualmente y remover sedimentos semestralmente. Igualmente, para facilitar el mantenimiento, estas estructuras deben tener conexiones articuladas de manera que la remoción del material acumulado sea más sencilla. Sin embargo, cuando existe riesgo de vandalismo puede

ser necesario instalar una rejilla fija. Adicionalmente, es necesario verificar el desempeño de esta estructura antes de que ésta entre en operación.

(b) Rejilla para la estructura de rebose

Esta estructura, sólo se debe utilizar cuando exista un alto riesgo de obstrucción de la estructura de rebose en la tipología de SUDS, por parte de material de gran tamaño que pueda ser transportado por el flujo de escorrentía. Asimismo, este tipo de rejilla puede ser empleada para el seguimiento de la operación de cámaras o pozos de salida, de modo que se pueda realizar una inspección visual, y, por lo tanto, evidenciar de forma sencilla funcionamiento deficientes en estas estructuras. La eficiencia de este tipo de rejilla depende de la distancia a la cual se ubique con respecto a la salida de la tipología, con el fin de evitar interferencias con la capacidad hidráulica de la misma. Este tipo de rejilla usualmente está asociada a cuenca seca de drenaje extendido y en general debe tener la misma pendiente del talud de la estructura de salida.

El área efectiva de las rejillas debe garantizar que no se restringirá el paso del agua cuando se encuentre parcialmente obstruida, para ello es necesario realizar una estimación de la carga anual de residuos que tendría que remover esta rejilla. El diseño general de esta estructura debe seguir como mínimo las dimensiones presentadas en la Tabla 25 y Tabla 26.

Tabla 25. Parámetros de diseño de rejilla para la estructura de rebose

Parámetro	Valor	Unidades
Ángulo	60	°
Espaciamiento entre las barras	75 – 150	Mm
Altura máxima	2	M

Tabla 26. Área total recomendada para la rejilla de rebose

Carga de residuos (m³/año)	Área total (A_{sr})*
<30	6 m² o 3 veces el área del culvert
30-60	9 m² o 7 veces el área del culvert
>60	12 m² o 9 veces el área del culvert
* Se selecciona el valor máximo	

Una vez se estima el área superficial de la rejilla (A_{sr}), es necesario estimar la velocidad máxima del flujo que pasa a través de la rejilla, la cual no debería exceder 0.6 m/s, para un caudal con periodo de retorno de 10 años. Esto debido a que la rejilla debe diseñarse para soportar la presión ejercida por la lámina de agua asociada al evento de diseño crítico.

$$v_{pr} = \frac{Q_{p_10años}}{A_{sr}}$$

Donde v_{pr} = Velocidad máxima de paso por la rejilla (m/s), $Q_{p_10años}$ = Caudal pico con periodo de retorno de 10 años (m³/s), A_{sr} = Área de la superficie de la rejilla (m²).

4.6.5.5 Disipador de energía

Los disipadores de energía son estructuras que permiten reducir la velocidad del flujo de tal manera que la erosión producto de la salida del agua se minimiza. Estos deben emplearse cuando la velocidad del flujo de salida excede la velocidad de erosión en el canal aguas abajo, y comúnmente sólo se requieren para estructuras de rebose y vertederos de emergencia.

(a) Enrocado

El enrocado corresponde a una capa de piedra que reduce la velocidad del flujo. Se recomienda cuando el número de Froude en la salida es menor o igual a 2.5. Puede ser implementada en las transiciones de tuberías y de box culvert a un canal natural. En general las características de estas estructuras asociadas a una tubería y a un cabezal se presentan en la norma de la Empresa de Acueducto [“NS-142 Notes Link Esquemas típicos de cabezales entrega a canales en redes de alcantarillado”](#).

(b) Tanque de amortiguación

Estructura con forma de caja con una pantalla vertical colgante y una solera o durmiente al final de la caja. La disipación de la energía se da mediante el impacto del agua contra la pantalla y a causa de la turbulencia resultante. Se emplea cuando las velocidades de salida son mayores a 15 m/s y el número de Froude se encuentra entre 1 y 9. Por lo general, su funcionamiento no se ve afectado por las condiciones aguas abajo de la estructura de salida, sin embargo, la altura aguas abajo puede ayudar a que el flujo a la salida sea menos turbulento.

La norma de la Empresa de Acueducto [“NS-142 Notes Link Esquemas típicos de cabezales entrega a canales en redes de alcantarillado”](#) incluye características y dimensiones mínimas para estos tanques de acuerdo con el caudal. Asimismo, restringe el uso de los tanques a caudales menores a 11 m³/s y donde se presenten velocidades de entrada menores a 9 m/s. En esta normativa también se incluyen características de los materiales.

4.6.6 Estructuras de detención o retención

Corresponden a estructuras empleadas para favorecer la detención o retención de la escorrentía, durante su tránsito por la tipología asociada. Usualmente, esto ocurre al involucrar algún tipo de barrera física al flujo de agua para inducir su almacenamiento temporal. Estas estructuras favorecen la reducción de la velocidad del flujo, controlan su descarga y mejoran procesos de sedimentación de contaminantes.

Cuadro 15. Relación estructuras anexas de detención o retención con tipologías

Estructura anexa de detención o retención	Tipologías						
	Alcorques Inundables	Cuenca Seca de Drenaje	Cunetas Verdes	Zanjas de Infiltración	Pavimentos Porosos	Tanques de almacenamiento	Zonas de Bio-retención
Taludes laterales		O	O				C
Dique de seguridad		O					

(O) Estructura anexa de carácter obligatorio, (C) obligatoria, si el diseño del talud se realiza con terreno natural y cespedon.

4.6.6.1 Taludes laterales

Esta estructura tiene como objetivo retener parte de la escorrentía y aumentar el tiempo de retención del agua en la tipología donde se implementen. Éstas pueden ser una subdivisión de un volumen significativo de almacenamiento, constituir parte de un dique o definir el perímetro de las zonas de detención o retención del agua. Estas estructuras generalmente se componen de tierra con cobertura vegetal y vertedero o sistema de bypass.

Los componentes básicos de un talud son tierra vegetal, vegetación y vertedero o sistema de bypass. La tierra vegetal corresponde a la parte exterior del talud y debe ser de buena calidad, dado que no solo provee una barrera para el flujo, sino que también constituye un medio de crecimiento para las plantas. Considerando los costos, se recomienda que solo 0.10 m a 0.20 m del talud correspondan

a tierra vegetal de alta calidad. De esta manera, la parte interna del talud puede hacerse a partir de un material de relleno estable, el cual puede corresponder a suelo reutilizado de otra parte del sitio.

Por otro lado, el uso de vegetación tiene el objetivo de estabilizar y prevenir la erosión de la capa de suelo. En este caso se recomienda hacer uso de vegetación nativa y pastos. Finalmente, el uso de un vertedero es imprescindible puesto que pueden presentarse eventos mayores al evento de diseño. El vertedero permite evacuar el agua de la estructura sin causar erosión en el talud. Como alternativa es posible disponer de un sistema de bypass. La pendiente máxima recomendada para un talud es de 4H:1V para prevenir problemas ocasionados por las podadoras. En todo caso, la pendiente lateral nunca debe ser mayor a 2H:1V para prevenir la erosión.

4.6.6.2 Dique de seguridad

Es un dique en tierra que se diseña de acuerdo con un evento con un periodo de retorno de 100 años asociado a los vertederos de emergencia y excesos. La pendiente recomendada para esta estructura es de máximo 4H:1V y la pendiente lateral debe ser máximo de 3H:1V. A su vez, se recomienda estabilizar las pendientes laterales mediante el sembrado de césped. Sin embargo, la siembra de vegetación leñosa no es adecuada debido a que puede afectar la estabilidad del dique.

4.6.7 Estructuras para monitoreo y/o mantenimiento

Estas estructuras anexas corresponden a aquellos complementos que se incorporan a las diferentes tipologías para realizar labores de monitoreo y/o mantenimiento.

Cuadro 16. Relación entre estructuras anexas de monitoreo y/o mantenimiento, y tipologías

Estructura anexa de monitoreo y/o mantenimiento	Tipologías						
	Alcorques Inundables	Cuenca Seca de Drenaje	Cunetas Verdes	Zanjas de Infiltración	Pavimentos Porosos	Tanques de almacenamiento	Zonas de Bio-retención
Pozo de Inspección	C ¹	C ¹	C ¹	C ¹	C ¹	C ¹	
Tubería de Inspección			C ²	C ²	C ²		C ²

(C) Estructura anexa condicional a los siguientes criterios: (1) obligatoria, de acuerdo con lo estipulado en la norma de la EAB-ESP [“NS-029 Notes Link Pozos de inspección”](#) y (2) obligatoria, siempre y cuando la tipología cuente con tuberías perforadas.

4.6.7.1 Pozos de inspección

Cámaras subterráneas que posibilitan el acceso a los ductos y canalizaciones para su inspección y mantenimiento. Se recomienda que el diámetro interno de la parte cilíndrica de los pozos de inspección sea de 1.20 m y el diámetro del orificio de entrada 0.6 m. Igualmente, la profundidad mínima de estas estructuras debe ser de aproximadamente 1 m sobre la cota clave del colector superficial.

Para el diseño de estas estructuras se sugiere remitirse a los siguientes documentos de la EAB-ESP: [“NS-029 Notes Link Pozos de inspección”](#), [“NP-074 Notes Link Cámara de inspección prefabricada para alcantarillado”](#), [“NS-002 Notes Link Criterios de diseño estructural”](#), [“NS-085 Notes Link Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado”](#) y [“EC-301 Notes Link Especificación técnica de construcción de pozos de inspección”](#).

Por otro lado, es necesario realizar inspecciones visuales de la estructura periódicamente, y si se requiere se deben remover sedimentos o material sólido para evitar obstrucciones.

4.6.7.2 Tubería de inspección

Esta estructura corresponde a tubos que se colocan de manera vertical en las tuberías de entrada y salida para facilitar la inspección y lavado de éstas. Dado que estructura corresponde a una conexión a una tubería principal, ésta debe tener un diámetro igual al de la tubería a la cual están conectados. A su vez, se recomienda disponer de tuberías de este tipo de 0.10 a 0.15 m de diámetro en el fondo de la tipología de SUDS para determinar el tiempo en que el agua es drenada. Asimismo, es necesario incluir una cubierta de rosca o una tapa atornillada sobre estas tuberías para prevenir la manipulación de éstas.

4.7 CONEXIÓN AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO CONVENCIONAL

Las descargas de las estructuras de salida de los SUDS a los sistemas de alcantarillado existentes, para la ciudad de Bogotá, deben ser diseñadas y construidas con base a las Normas Técnicas de Servicio de la Empresa de Acueducto [“NS-068 Notes Link Conexiones domiciliarias domésticas y no domésticas”](#) y [“NS-039 Notes Link Control para vertimientos de residuos líquidos no domésticos”](#). Dichos documentos definen los criterios de diseño, construcción, operación y mantenimiento de los desagües de conexiones de aguas residuales no domésticas, así como de las cajas de inspección y monitoreo requeridas antes de la entrega final de éstas a la red de alcantarillado. Así como los principales aspectos a considerar para la identificación y seguimiento de vertimientos no domésticos, de usuarios no residenciales, a los sistemas de alcantarillado preexistentes.

Finalmente, como consideración importante debe anotarse que, de acuerdo con el [“Decreto 1076 de 2015”](#), es obligación de los usuarios para los cuales se requiera la prestación de servicio comercial, industrial, oficial y/o especial por parte del prestador del servicio de alcantarillado, que se realice la caracterización de los vertimientos realizados, en términos de cantidad y calidad, según lo indicado en la norma de la Empresa de Acueducto [“NS-039 Notes Link Control para vertimientos de residuos líquidos no domésticos”](#).

Específicamente, el diseñador debe verificar el cumplimiento de los requisitos de diseño (generales y propios de cada estructura que se diseñe), consideraciones constructivas y de materiales, así como manejo de impactos dependiendo del tipo de salida que presente el sistema proyectado.