



Módulo 4

Diseño de SUDS para el AMSS



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

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

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

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Redacción:
Ana Isabel Abellán

Colaboradores:
Julia Otaño
Luis Martín

Coordinación OPAMSS:
Liduvina Hernández
Ingrid Alfaro
Eduardo García

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

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

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



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

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



Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario Capítulo 22



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Supuesto práctico 1: Modelo con SUDS para una pequeña edificación

Introducción

En este supuesto práctico se muestra un ejemplo sencillo de incorporación de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) en la gestión convencional de drenaje de una zona ya urbanizada.



Imagen 22. 1. Edificación objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia

Se trata de una edificación típica en el AMSS con las bajantes de drenaje de las cubiertas externas vertiendo al pavimento directamente. El hecho de que los bajantes discurran por el exterior de la fachada tiene como ventaja que no es necesario realizar ninguna obra de importancia, como abrir muros o suelo.

Objetivo del proyecto:

Mejorar la estética de un parqueo de una edificación tipo vivienda que tiene un uso comercial. Para ello se pretende instalar una jardinera en parte del perímetro exterior y como los bajantes salen directamente a la calle, aprovechar el agua de la cubierta para el riego de las plantas.

Pasos en el diseño

1. Análisis de la zona de proyecto

Recopilación de información

La jardinera que actuará como un pequeño sistema de biorretención es una intervención de tipo puntual en una zona altamente urbanizada y sobre un edificio ya construido por lo que la información necesaria de partida es mínima:

- Curvas IDF de la estación más cercana
- Plano del edificio con la localización detallada de los bajantes y de la zona de parqueo

Al tratarse de una intervención de pequeña envergadura de carácter estético que sólo afectará al propietario del edificio, no se requiere tramitación de Factibilidad y, aunque sobresalga unos centímetros de la construcción, el elemento queda dentro de la propiedad, por lo que tampoco se requiere solicitud de permiso a la alcaldía.

Tratamiento de la información

Cálculo de caudales

La estimación del caudal a gestionar con la jardinera se ha realizado a partir de la pluviometría y del área de aportación de la cubierta.

Las áreas aportantes que desembocan en los bajantes seleccionados son las que se muestran en la imagen. El resto de la cubierta del edificio desagua por los otros dos bajantes, dado que no hay espacio suficiente para instalar un SUDS manteniendo área suficiente para el parqueo, no se van a emplear. La localización de los bajantes se puede ver en la imagen. En azul los bajantes que se van a emplear y en rojo los que no.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS



Imagen 22. 2. Localización de los bajantes en la edificación objeto de estudio. En azul los que serán intervenidos y en rojo los que no. Fuente: Elaboración propia

El área aportante total para la jardinera es de 60 m² de la cubierta, aproximadamente 30 m² por cada bajante.



Imagen 22. 3. Imagen aérea de la edificación objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de una imagen de Google Maps

Para la determinación de caudales también se necesita conocer la precipitación de diseño. Puesto que se trata de un SUDS de control en origen, de una edificación que no requiere realizar una obra de control de aguas lluvias y que su principal objetivo es el ornamental, se empleará una lluvia de período de

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario

retorno de 5 años de la estación meteorológica más cercana, Procafé y una hora de duración. Para la obtención de la misma se han empleado las las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de dicha estación meteorológica:

$$I = \frac{10.72738 \cdot T^{0.21884}}{D^{0.63024} + 1.00332}$$

Ecuación 22. 1. Ecuación de las curvas IDF empleada en este supuesto caso práctico.

I, Intensidad en mm/min

T, periodo de retorno en años

D, duración de la tormenta en minutos

Puesto que es un área de aportación pequeña e impermeable, se puede asumir una transformación directa del agua que precipita en escorrentía, considerando un coeficiente de escorrentía de 0,95, el volumen total que se genera es:

Volumen de precipitación a gestionar en la jardinera de biorretención= precipitación caída en una hora*área aportante*coeficiente de escorrentía

$$\underline{64.45 \text{ mm} \cdot 60 \text{ m}^2 \cdot 0.95 = 3,67 \text{ m}^3}$$

Ecuación 22. 2. Volumen de precipitación generado en una tormenta de una hora de duración y 5 años de período de retorno.

Análisis de la situación actual

El edificio donde se va a ubicar el sistema de biorretención está completamente integrado en el paisaje urbano. De su cubierta salen cuatro bajantes que directamente sobre la superficie vial. Se presupone que ya cumple con la normativa de aguas lluvias y esta intervención retendrá parte del caudal generado en los techos, por lo que en todo caso mejorará la gestión de las aguas lluvias. El volumen que se genera no es nada despreciable dada la intensidad de la lluvia de la zona en la que se encuentra la edificación (Colonia de El Escalón en San Salvador), y actualmente va a parar al cordón cuneta, que lo transporta hasta un tragante localizado unos metros aguas abajo. En la zona dedicada al parqueo de los clientes se ha observado que hay suficiente espacio para la instalación de una jardinera que hará las veces de biorretención.

2. Creación del modelo SUDS

El modelo en este caso consta sólo de un eslabón: se trata de una técnica individual de control en origen que ha de ser capaz de laminar el volumen de agua definido en el estudio previo.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Por la situación de los puntos de drenaje y la configuración de la edificación, se ha optado por la instalación de un sistema de biorretención, en esta ocasión, una jardinera de biorretención que se instalará junto a la fachada en forma de L.



Imagen 22. 4. Recreación de un pequeño sistema de biorretención como una jardinera. Fuente: Elaboración propia a partir de una imagen de Google Maps

La sección de la jardinera consta de una capa de grava que contribuya a aumentar la capacidad de retención, una capa de tierra que de sustento a la vegetación y un resguardo. De esta manera, almacenará, laminará y filtrará el caudal de agua de parte del techo del edificio.

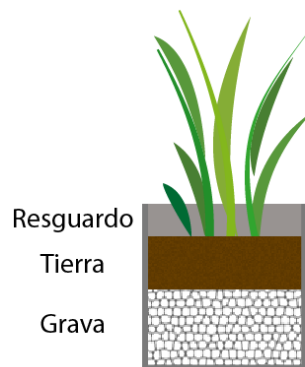


Figura 22. 1. Sección de la jardinera que actúa como sistema de biorretención. Fuente: Elaboración propia

- Filtrará las primeras aguas de las lluvias, las más contaminantes, las almacenará y las evapotranspirará.
- Si la lluvia es mayor, las almacenará y las drenará poco a poco por unos pequeños orificios realizados en la base de la jardinera.

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario

- Si el volumen de lluvia excede de la capacidad de la jardinera, desbordará la misma, realizando una labor de laminación de los caudales punta.

Estimación del volumen de retención

Las dimensiones de la jardinera están delimitadas por los muros del edificio, éstos miden 4,5 y 6,5 metros de largo respectivamente, la profundidad máxima es 0,70 metros puesto que hay una falsa puerta que hace las veces de ventana en un lateral y una anchura de 0,5 metros para permitir que los coches sigan teniendo hueco para aparcar.

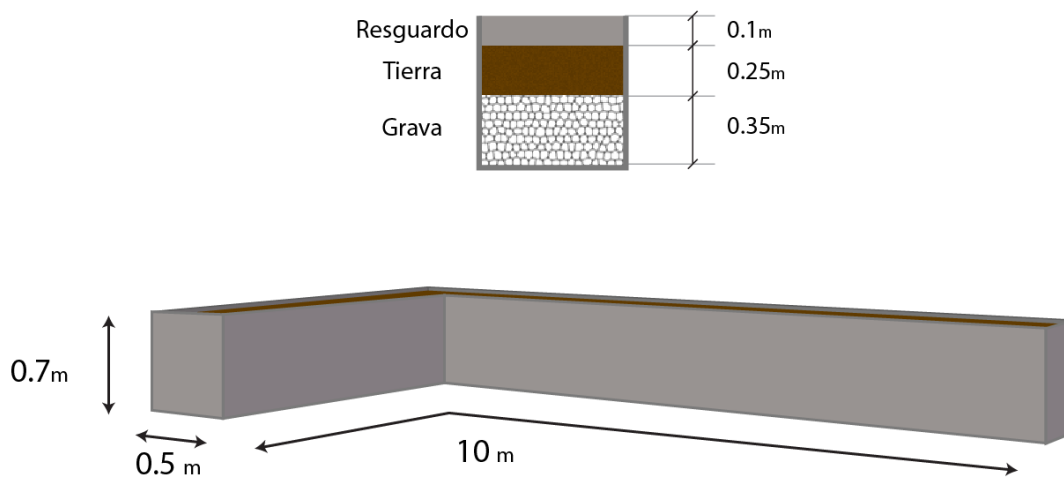


Figura 22. 2. Esquema con dimensiones de la jardinera. Fuente: Elaboración propia

El **volumen total** de la jardinera sería entonces de 3,68 m³, pero la jardinera va rellena en parte, por lo que el **volumen útil** será aquel que dejan los poros del relleno más el resguardo.

Las capas de la jardinera tienen 10 cm de resguardo, 25 cm de suelo (suficiente para el tipo de vegetación que se debe emplear en este tipo de SUDS) y 35 cm de grava. La porosidad del suelo se estima en un 30% y la de las gravas a emplear del 40%, puesto que en el resguardo es donde crece la vegetación, el porcentaje del espacio que deja libre se ha supuesto en un 75%.

Vol. Total de almacenamiento útil en gravas (m ³)	Vol. Total de almacenamiento útil en suelo (m ³)	Vol. Total de almacenamiento útil en resguardo (m ³)	Vol. Total de almacenamiento útil (m ³)
0.74	0.39	0.39	1.52

Tabla 22. 1. Volúmenes de almacenamiento en las diferentes capas. Fuente: Elaboración propia

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

El volumen de almacenamiento útil es inferior a la mitad del necesario a instalar. **En una nueva construcción, o si se trata de una edificación que necesita pasar los trámites de los permisos de obras, habría que buscar otra solución** que diera cabida a todo el volumen a almacenar, pero en esta ocasión, como se ha dicho anteriormente, el objetivo no es la gestión de pluviales sino la creación de una jardinera con capacidad para laminar parte de las lluvias frecuentes.

Estimación del tiempo que tarda el agua en atravesar la sección

Este se puede establecer a partir de la ecuación de determinación del área de biorretención que aparece en el Bloque 2. Modelo conceptual

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

Ecuación 22. 3. Estimación del área mínima que ha de tener el sistema de biorretención.

- A_J = Área superficial de la bio-jardinera, 5,25 m²
- V_E = Volumen que entra al sistema, 3,68 m³
- L = Altura total del relleno, 0,6 m
- h = Altura de la lámina de agua encima de la matriz, 0,1 m
- k = Coeficiente de permeabilidad de la matriz porosa predominante, se adopta el valor típico de 10⁻³ m/s
- t = Tiempo de percolación del agua a través de la matriz porosa (segundos)

El valor resultante es de 10 minutos, es decir, todo el volumen atravesaría la jardinera en diez minutos, la laminación se produce entonces controlando el caudal de salida para lo cual se pueden emplear orificios cuyo diámetro y número han de definirse en el siguiente paso de diseño.

3. Proyecto SUDS

Definido el volumen del SUDS hay que determinar el caudal de salida de la jardinera por los orificios para que, en la medida de lo posible el agua salga fácilmente sin que llegue a desbordar.

Puesto que se trata de una obra alargada se pondrán varias salidas, que consisten en pequeños agujeros situados en la pared externa de la jardinera, en su parte baja.

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario



Imagen 22. 5. Recreación de un pequeño sistema de biorretención como una jardinera con salida de excedente por orificios en la parte inferior. Fuente: Elaboración propia a partir de una imagen de Google Maps

Para evitar tener que poner agujeros de un tamaño grande por el que puedan salir las gravas, se propone instalar un total de 10 orificios distribuidos homogéneamente a lo largo de la jardinera. Cada uno de ellos expulsará el agua de una sección de $0,525 \text{ m}^2$.

La determinación del diámetro de los orificios puede realizarse empleando las ecuaciones que aparecen en el Bloque 2. Modelo de proyecto.

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

Ecuación 22. 4. Estimación del área del orificio de salida.

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

Ecuación 22. 5. Estimación la duración del vaciado del sistema.

A_0 = Área de la sección transversal interna del orificio (m^2)

A_s = Área en planta de la toma de almacenamiento el SUDS para un volumen de almacenamiento en forma de prisma recto, que es de $0,525 \text{ m}^2$

C_d = Coeficiente de descarga (m) con el valor típico de $0,60 \text{ m}$

g = Aceleración originada por la gravedad $9,81 \text{ m/s}^2$

$t_{descarga}$ = Tiempo de vaciado, máximo de 6 horas para que no permanezcan mucho tiempo encharcadas las plantas.

h = Distancia desde la superficie de la lámina de agua hasta el centro del orificio, $0,70 \text{ m}$ en llenado completo.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

De esta manera sale un diámetro de orificio demasiado pequeño, $0,15 \text{ cm}^2$ lo que puede dificultar su construcción. Por ello se plantea que el tamaño de los orificios sea de 1,5 cm de radio y se comprueba que el tiempo de vaciado permite la salida laminada del caudal, en este caso se propone el empleo de 8 orificios.

Para ello se realiza un balance de masas entre los caudales de entrada de aguas lluvia a la jardinera y los de salida, comprobando que para la lluvia de diseño no desborda:

Tiempo (minutos)	Precipitación (mm)	Intensidad (mm/hr)	Caudal entrada (m3)	Caudal de salida total (m3)	Altura alcanzada en la jardinera (cm)
5	2,45	29,4	0,07	0,02	2,35
10	2,8	33,6	0,08	0,02	5,14
15	3,3	39,6	0,09	0,02	8,36
20	4,2	50,4	0,11	0,03	12,45
25	6,2	74,4	0,17	0,03	18,83
30	20,3	243,6	0,55	0,04	45,62
35	8,65	103,8	0,23	0,06	56,49
40	4,95	59,4	0,13	0,07	60,66
45	3,7	44,4	0,10	0,07	62,56
50	3	36	0,08	0,07	63,20
55	2,6	31,2	0,07	0,07	63,13
60	2,3	27,6	0,06	0,07	62,56
65	0	0	0	0,07	58,05
70	0	0	0	0,07	53,69
75	0	0	0	0,07	49,46
80	0	0	0	0,06	45,38
85	0	0	0	0,06	39,82
90	0	0	0	0,06	36,97
95	0	0	0	0,06	34,21
100	0	0	0	0,06	31,57
105	0	0	0	0,05	29,02
110	0	0	0	0,05	26,59
115	0	0	0	0,05	24,25
120	0	0	0	0,05	22,02
125	0	0	0	0,04	19,90
130	0	0	0	0,04	17,88
135	0	0	0	0,04	15,97
140	0	0	0	0,04	14,16
145	0	0	0	0,04	12,45
150	0	0	0	0,03	10,86
155	0	0	0	0,03	9,37

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario

Tiempo (minutos)	Precipitación (mm)	Intensidad (mm/hr)	Caudal entrada (m3)	Caudal de salida total (m3)	Altura alcanzada en la jardinera (cm)
160	0	0	0	0,03	7,98
165	0	0	0	0,03	6,70
170	0	0	0	0,02	5,53
175	0	0	0	0,02	4,5
180	0	0	0	0,02	3,5
185	0	0	0	0,02	2,7
190	0	0	0	0,02	1,9
195	0	0	0	0,01	1,3
200	0	0	0	0,01	0,8
205	0	0	0	0,01	0,4
210	0	0	0	0,01	0,1
215	0	0	0	0,00	0,0

Tabla 22. 2. Altura de la lámina de agua alcanzada en la jardinera. Fuente: Elaboración propia

La laminación del caudal de escorrentía puede apreciarse con más facilidad en el siguiente gráfico:

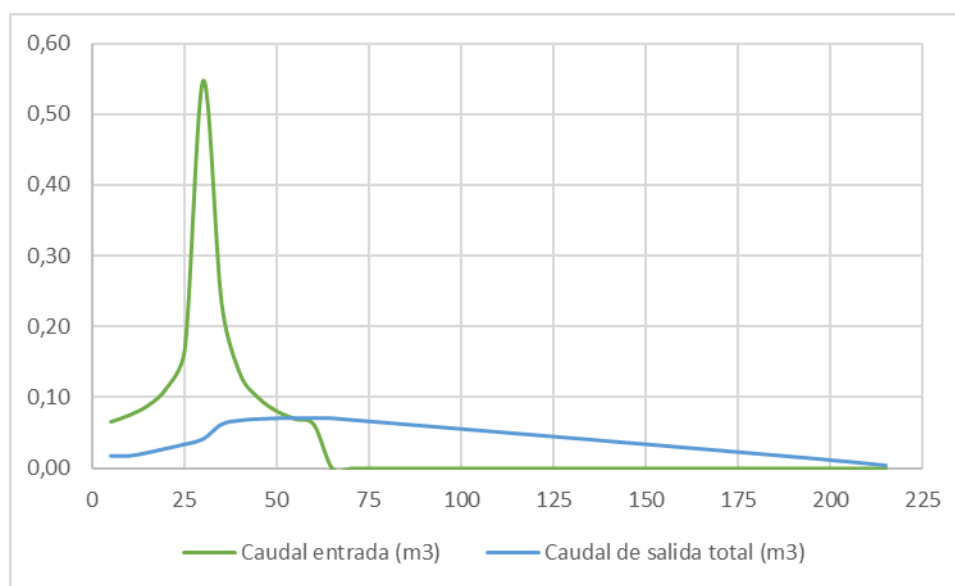


Gráfico 22. 1. Laminación de caudal en la jardinera, se aprecia claramente la reducción del pico entre la entrada de caudal (línea verde) y la salida (línea azul). Fuente: Elaboración propia

Para los caudales de diseño, con el número y tamaño de orificios seleccionados, la jardinera tardaría dos horas y media tras la tormenta en vaciarse.

Una laminación mayor del caudal requeriría un menor diámetro o número de orificios, pero hay que tener cuidado porque en ese caso aumenta el riesgo de oclusión de las salidas generando problemas de funcionamiento y provocando ahogamiento de la vegetación.

Vegetación

La selección de las plantas para la jardinera puede realizarse según lo expuesto en el Bloque-2. Caracterización de la zona de estudio.

Puesto que se trata de un sistema cuya principal finalidad es ornamentar el parqueo, las especies recomendadas en este caso práctico son helechos y aráceas por su estética.

Mantenimiento

Las especies seleccionadas aguantarán bien la época lluviosa, pero no tanto la seca, por lo que durante los meses de estiaje se deberá proceder al riego regular en función del estado del sustrato. Puesto que se trata de una superficie pequeña, puede realizarse manualmente, al igual que la extracción de las malas hierbas que puedan crecer.

Antes del comienzo de la época de lluvias se comprobará que no hay obstáculos en los orificios que taponen la salida del agua.

4. Informe final SUDS

Al tratarse de una pequeña intervención con un mayor componente estético que de gestión de aguas lluvias, inferior a 50 metros cuadrados y sobre un elemento ya construido, no se requiere de la tramitación de permisos para su ejecución.

Supuesto práctico 2: Recolección de aguas lluvias

Introducción

La recolección y reuso de las aguas lluvias supone una nueva fuente del recurso agua para actividades que no requieran que sea potable, como la limpieza o el riego de parques y jardines. Empleando estas aguas, se consigue reducir el gasto sobre la red de abastecimiento, con el consecuente ahorro en energía de bombeo y tratamiento. Por ello es una solución sostenible en la gestión municipal de las aguas, no sólo las de escorrentía, sino que también en las de consumo urbano.

Objetivo del proyecto:

Cosechar las aguas lluvias precipitadas sobre el techo de OPAMSS para el mantenimiento del muro verde de la zona de parqueo. Actualmente se dispone de un depósito donde se almacena el agua procedente de la red de abastecimiento para el riego del muro verde, el objetivo es analizar el cambio de entrada para que acumule las aguas lluvias.

Pasos en el diseño

1. Análisis de la zona de proyecto

La zona de proyecto son las oficinas de OPAMSS-COAMSS localizadas en la 15 Avenida Norte de la ciudad de San Salvador.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

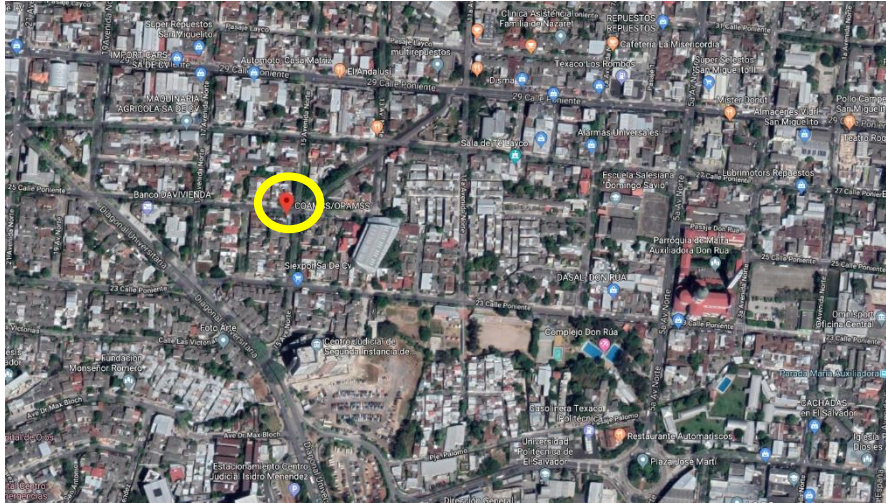


Imagen 22. 6. Dentro del círculo amarillo, localización de OPAMSS. Fuente: Google Maps

Dada la naturaleza del proyecto, almacenamiento del agua de lluvia, no es necesario analizar las características del terreno en busca de si hay probabilidad de infiltración o los riesgos asociados a ella.

Recopilación y tratamiento de la información

Al tratarse de una intervención dentro de los límites de las oficinas de OPAMSS sin afectar al exterior y no requerir de grandes intervenciones sobre la red interna de abastecimiento. La información requerida para el diseño de un sistema de reuso de aguas lluvias se limita a datos pluviométricos, planos del edificio y estimación del consumo de agua que se suplirá con la lluvia cosechada.

Pluviometría

La estimación del volumen del depósito donde se almacenarán las aguas lluvias se realiza a partir de los valores de precipitación acumulada media, por ello se parte de los valores medios mensuales y no de precipitaciones máximas diarias.

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

Tabla 22. 3. Precipitaciones medias mensuales para San Salvador. Fuente: <https://es.climate-data.org/americas-del-norte/republica-de-el-salvador/departamento-de-san-salvador/san-salvador-1889/>

La distribución de las precipitaciones es irregular a lo largo del año, concentrándose en los meses que van desde mediados de mayo a finales de octubre. En dicha época húmeda las precipitaciones son frecuentes y de alta intensidad mientras que en la temporada seca apenas si hay días de lluvia.

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario

Antecedentes

Actualmente el riego del muro verde se realiza a través de un depósito situado en un patio interior que se alimenta de la red de abastecimiento del edificio.

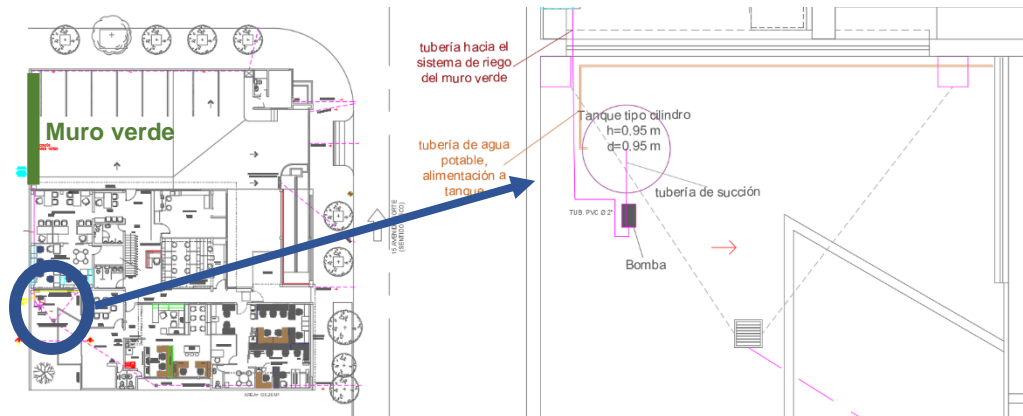


Figura 22. 3. A la izquierda, planta del edificio de OPAMSS y a la derecha, detalle de la localización del depósito de almacenamiento de agua para riego. Fuente: OPAMSS.

El depósito consiste en un tanque plástico cilíndrico de 0,95 metros de altura y 0,95 metros de diámetro. Se alimenta de la red de abastecimiento y el agua sale mediante una bomba que la conduce hacia el muro verde situado en el parqueo.

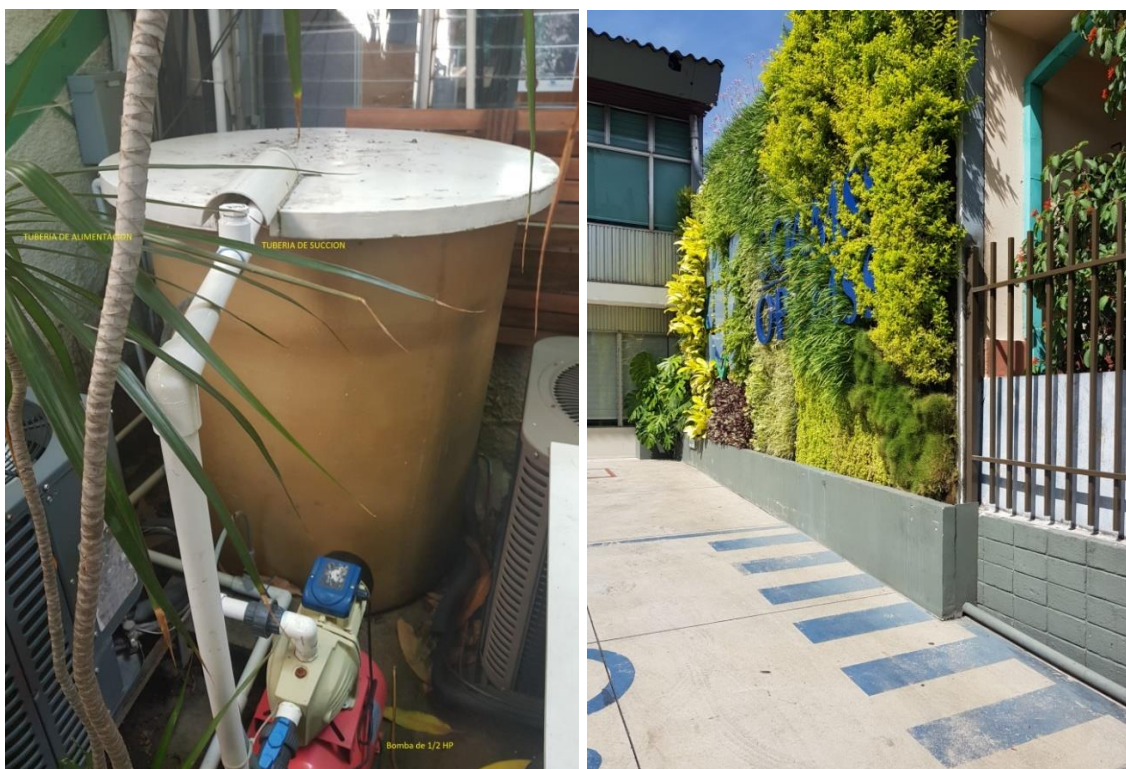


Imagen 22. 7. A la izquierda, depósito de agua y a la derecha, muro verde que se riega con el agua del depósito. Fuente: OPAMSS

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

El volumen máximo del tanque es de $0,67 \text{ m}^3$, puesto que el agua de entrada es completamente potable y limpia, no hay pérdidas de volumen útil por deposición de sedimentos.

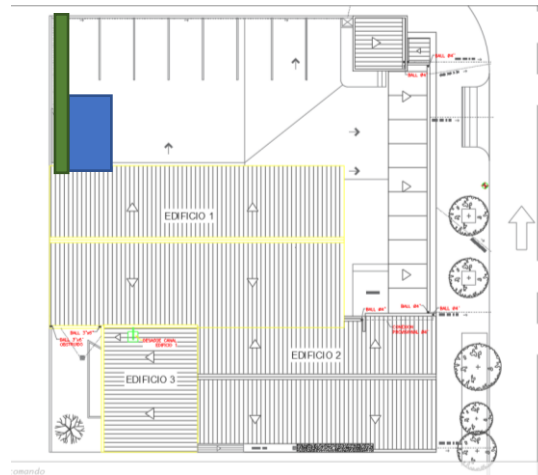


Figura 22. 4. Localización del depósito de detención subterráneo (en azul) y del muro verde (en verde).

Fuente: OPAMSS.

Además, bajo el parqueo y bajo el muro verde, se encuentra un depósito subterráneo de detención de las aguas lluvias que caen en el recinto. Este depósito de concreto y forma prismática rectangular tiene aproximadamente unos 14 m^3 . Correctamente limpiado podría suponer un posible espacio para el almacenamiento continuado de las aguas de escorrentía.

Por tanto, en el recinto hay dos elementos susceptibles de transformarse en depósitos para el almacenamiento y posterior uso de las aguas lluvias, uno bajo cada techo inclinado.

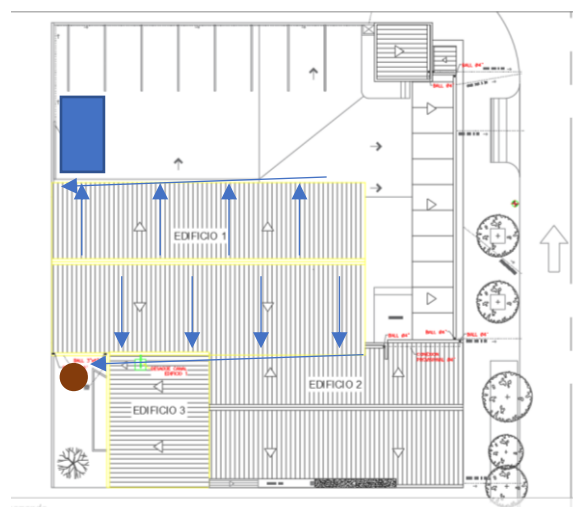


Figura 22. 5. Las flechas azules indican el sentido del agua, el elemento azul es el depósito de detención y el marrón el de agua para riego del muro verde. Fuente: OPAMSS.

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario

Áreas de captación

Las áreas de captación de las aguas lluvias son las superficies de los techos de los edificios de OPAMSS, cada una de 110 m². Se trata de varios techos a dos aguas con una inclinación del 10%. El agua de lluvia escurre por el techo y cae libremente al suelo en la superficie del techo del edificio principal que da al parqueo, también ocurre con la mitad de la otra superficie del techo del edificio principal, que va a parar a un jardín interno. El resto se canaliza y va a parar a un depósito de detención de pluviales.

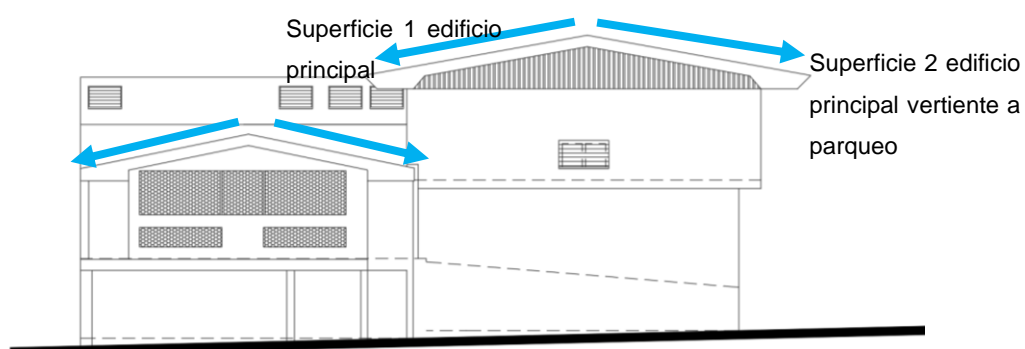


Figura 22. 6. Perfil del edificio de OPAMSS, en azul el sentido del agua que cae sobre la cubierta del edificio principal. Fuente: OPAMSS.

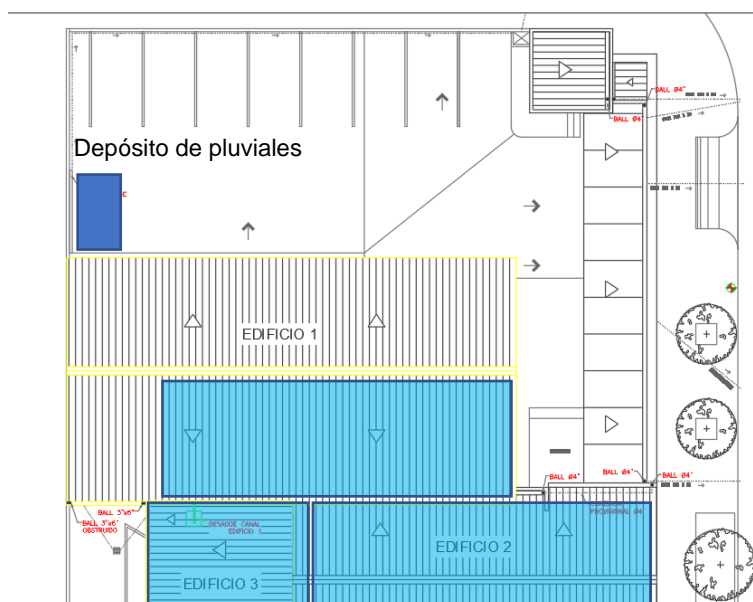


Figura 22. 7. En azul claro, las superficies de captación. Fuente: OPAMSS.

Requerimientos de riego

Las necesidades de riego de la pared no se conocen con exactitud, se estiman a partir de datos bibliográficos en $8 \text{ l/m}^2 \cdot \text{día}$. Teniendo en cuenta que la pared ocupa una extensión aproximada de 20 m^2 , se necesitan unos 160 litros al día para mantener la vegetación.

2. Creación del modelo SUDS

El SUDS propuesto es un depósito para la recolección de pluviales. Puesto que ya hay instalado un depósito se comprobará si tiene capacidad suficiente para almacenar el agua de riego necesaria y si es recomendable la instalación de algún otro sistema.

Estimación de volúmenes

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

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

Ecuación 22. 6. Volumen que se puede recolectar en un año.

A: m^2 de superficie de captación de agua, 275 m

P: Pluviometría anual media de la ubicación: 1833 mm

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

Con esos valores, el volumen anual precipitado sobre las superficies de los techos de las oficinas de OPAMSS con canaleta que recolecta la escorrentía es de **403,26 m^3** . El volumen anual que se requiere para mantener el muro verde es de **58,4 m^3** por lo que éste será el valor que se emplee para calcular el volumen mínimo que deberá tener el depósito de cosecha de aguas lluvias.

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

Ecuación 22. 7. Volumen del sistema de recolección de pluviales.

Vol_E : Volumen anual a emplear, en este caso 58,4 m^3

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

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario

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

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

MES	Días/mes	Precipitación media (mm)	Volumen mensual (m ³)	Consumo mensual (m ³)	Balance entre lo volúmenes precipitados y los consumidos (m ³)	Volúmenes acumulados en un depósito de 4,8 (m ³)
E	31	6	1,32	4,96	-3,64	0,00
F	28	5	1,10	4,48	-3,38	0,00
M	31	12	2,64	4,96	-2,32	0,00
A	30	58	12,76	4,80	7,96	4,80
M	31	165	36,30	4,96	31,34	4,80
J	30	308	67,76	4,80	62,96	4,80
J	31	334	73,48	4,96	68,52	4,80
A	31	321	70,62	4,96	65,66	4,80
S	30	350	77,00	4,80	72,20	4,80
O	31	228	50,16	4,96	45,20	4,80
N	30	36	7,92	4,80	3,12	4,80
D	31	10	2,20	4,96	-2,76	4,80
TOTAL ANUAL	365	1833	403,26	58,40	344,86	

Tabla 22. 4. Precipitaciones medias mensuales, consumos mensuales de agua para riego del muro verde y volúmenes acumulados. Fuente: Elaboración propia.

Aunque el balance anual da positivo (precipita más lluvia de la que se va a emplear en regar el muro verde) durante tres meses de época seca el primer año, y dos el segundo (se emplearía el agua acumulada en el mes de diciembre y anteriores para el riego en enero) hay déficit de aguas lluvias para riego. Puesto que las necesidades de almacenamiento superan los 4,8 metros cúbicos, directamente se descarta el uno del depósito del patio interior que acumula el agua potable de la red de abastecimiento que se emplea para regar el muro verde ya que sólo puede almacenar 0,67 m³.

Actualmente hay disponibles **14 m³** de volumen de almacenamiento en el depósito de detención. Este valor es superior a las necesidades de acumulación para riego en los dos meses secos.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Pero ese depósito está actuando actualmente como sistema de detención de las aguas lluvias, por lo que requiere de algunas modificaciones.

3. Proyecto SUDS

Comprobación de dimensiones

Puesto que ya hay un sistema de bombeo y riego por goteo instalado, se propone mantenerlo, pero adaptándolo al nuevo depósito. Para ello habrá que cambiar la bomba de instalación y reconectar la red de riego a un nuevo tubo procedente del sistema de almacenamiento/depósito de detención.

Hay que tener en cuenta que, durante los meses de lluvia, al sistema entrará más agua de la que se consumirá y deberá mantener una salida controlada de caudal que bien puede tratarse de una válvula automatizada que se abra cuando la altura de agua dentro del sistema alcance un determinado valor en época de lluvias o cuando se prevea la ocurrencia de un evento pluviométrico de gran magnitud.

Considerando como volumen útil de almacenamiento los 14 m³ del depósito de detención, el balance mensual quedaría como en la tabla:

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

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario

MES	Días/mes	Precipitación media (mm)	Volumen mensual (m ³)	Consumo mensual (m ³)	Volúmenes acumulados en depósito a final de mes el primer año (m ³)	Volúmenes acumulados en depósito a final de mes segundo año y posteriores (m ³)
TOTAL ANUAL	365	1833	403,26	58,40		

Tabla 22. 5. Balance de masas o método de Rippl mensual. Fuente: Elaboración propia.

Elementos adicionales

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

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

El filtro

El agua de la lluvia es blanda y ligeramente ácida, tiene poco olor y sabor a no ser que el techo contenga contaminantes como microorganismos, debido a materias fecales de aves u otros animales que pueden haber sido depositadas en el techo u hojas de árboles. Por ello es necesario instalar un filtro. Para este caso, ya que el agua proviene de unos techos a los que no se puede acceder para su limpieza y mantenimiento, se propone instalar en cada bajante un filtro separador de hojas.



Figura 22. 8. Sección de un filtro separador de hojas para bajante. Fuente: <https://aguadelluvia.es>

Además, se instalará un filtro tipo cesta a la entrada del depósito que retenga las partículas comprendidas entre 0,1-1mm capaz de tratar el agua procedente de superficies de hasta 350 m² (la superficie de captación de este supuesto práctico es de 275 m²).



Figura 22. 9. Filtro tipo cesta para instalar a la entrada del depósito. Fuente: <https://aguadelluvia.es>

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel domiciliario

Mantenimiento

Aunque no se trate de agua que vaya a estar en contacto con personas, es conveniente realizar unas tareas básicas de mantenimiento por dos motivos principalmente:

- Evitar que el agua almacenada se corrompa (entre material contaminante y se produzcan reacciones que generen toxicidades y malos olores)
- Prevenir de obturaciones en el sistema de conducción de aguas que impidan la llegada de caudal al depósito.

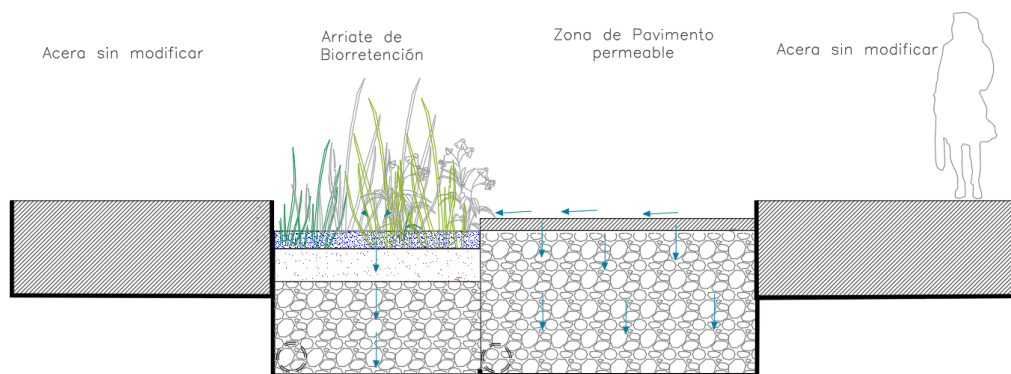
Las principales tareas a realizar serían:

- Revisión y limpieza de los elementos conductores de las aguas lluvias, canaletas y bajantes.
- Inspección y limpieza periódica del depósito, filtros, rebosaderos y válvulas, antes de la temporada de lluvias y a mitad de la misma.
- Vigilar el funcionamiento de la bomba y reparar si hay algún fallo.

4. Informe final con SUDS

Al igual que en el Supuesto 1, se trata de una pequeña intervención sobre elementos ya presentes, inferior a 50 metros por lo que no se requiere de la tramitación de permisos para su ejecución. Aunque hay que considerar que su actividad como laminador de tormentas se verá afectada al mantener almacenada parte de las aguas lluvias. Por este motivo se recomienda, ante la previsión de grandes tormentas, vaciar el depósito de forma controlada para que se vuelva a rellenar durante el evento extremo previsto.

Diseño de SUDS para el AMSS: Intervención vial Capítulo 23



Hoja dejada intencionadamente en blanco

Supuesto práctico 3: Modelo con SUDS para un tramo de calle

Introducción

En este supuesto práctico se analiza las necesidades de ampliación del sistema de drenaje de una vía de Santa Tecla, más concretamente de un tramo de la calle Jabalí.



Imagen 23. 8. En azul, zona del supuesto práctico. Fuente: Google Earth.

En esa calle aparecen problemas de inundaciones en la calle por incapacidad del sistema de microdrenaje existente. Una de las principales funciones de los SUDS es gestionar el excedente de escorrentía que no puede ser gestionado por las redes existentes debido a su incapacidad derivada de los procesos de urbanización. Por ello en este supuesto se evalúan posibles soluciones para controlar el exceso de escorrentía sobre la superficie vial.

El tramo de estudio se corresponde con el situado entre las avenidas A y C. Cerca de la Avenida C se encuentra la quebrada de Merliot, a la que se considera van a parar las aguas lluvias precipitadas aguas arriba de la zona de estudio.



Imagen 23. 9. En azul, el tramo de calle objeto de actuación. Fuente: Google Earth.

Objetivo del proyecto:

Principal: Reducir mediante el empleo de SUDS la lámina de agua que circula por la superficie.

Secundarios: Restaurar el tramo de la calle de estudio con nuevos arriates verdes y zonas específicas de parqueo.

Pasos en el diseño

Caracterización de la zona de proyecto

Recopilación de información

La información mínima necesaria recopilar es:

Topografía, para conocer las pendientes de la calle de estudio y delimitar las subcuencas urbanas.

Geología, la zona se asienta sobre Tierra Blanca joven lo que impide la posibilidad de realizar infiltración.

Datos pluviométricos, para el diseño de los SUDS, se emplearán las curvas IDF de la estación más cercana, comprobando el funcionamiento tal y como indica la normativa para una tormenta de 10 años de período de retorno.



Imagen 23. 10. Curvas de nivel de la zona de estudio.

Red de drenaje existente, en la zona ya hay varios sistemas de tragantes y colectores, pero aun así se producen inundaciones, por tanto, se debe analizar su capacidad para conocer el volumen que queda sobre la superficie viaria.

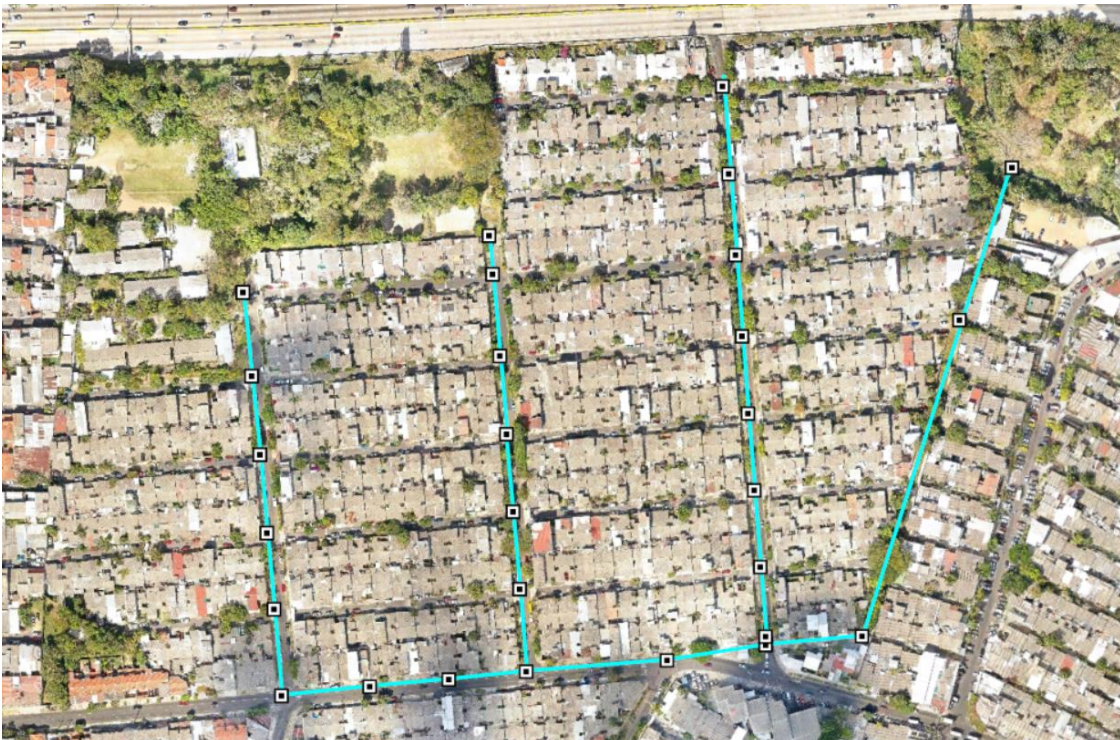


Imagen 23. 11. Los cuadros representan los pozos y las líneas azules los colectores de la red de microdrenaje existente bajo la zona de estudio.

Tratamiento de la información

Los problemas de escorrentía del tramo de la calle de estudio no los provoca solo la precipitación que cae directa sobre él, también afecta la de las calles perpendiculares que discurren con pendiente hacia la calle Jabalí. Ya que los caudales generados ahí se suman a los de la calle y esos volúmenes acumulados son los que provocan incapacidad del sistema. Por ello la gestión y tratamiento de los datos no se limitan a la calle de estudio, sino a aquellas calles aguas arriba que puedan afectar.

Pluviometría

Los datos de pluviometría empleados en este supuesto práctico corresponden a los de la estación Procafé. Para el análisis de capacidad del sistema se ha empleado una tormenta de diseño de 10 años de período de retorno y una duración de una hora.

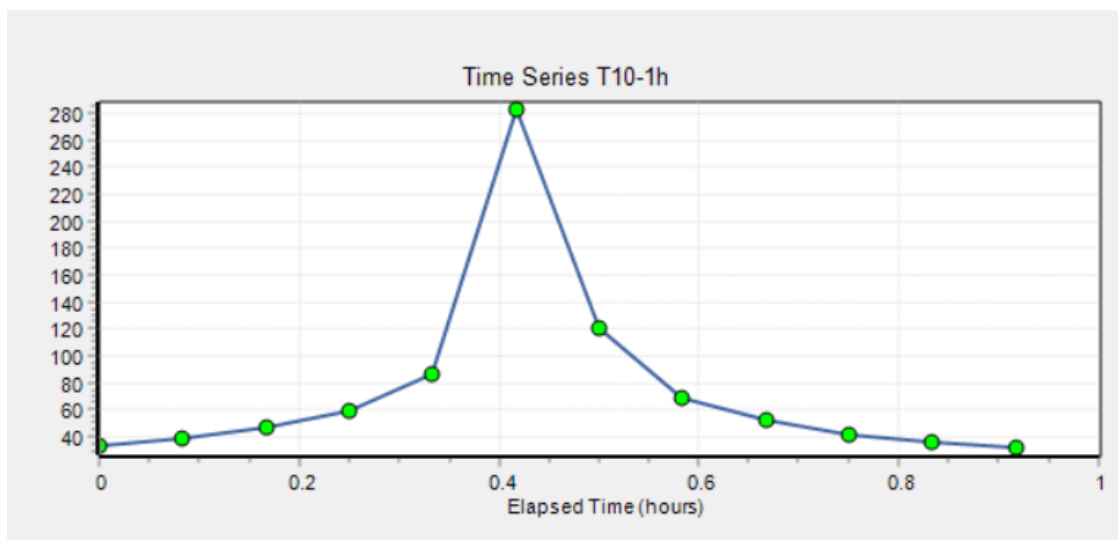


Gráfico 23. 2. Hietograma de la tormenta de diseño.

Subcuencas urbanas

En la delimitación de las subcuencas urbanas se han tenido en cuenta la topografía, la red de drenaje actual y la localización de tragantes. La hipótesis de partida para delimitar las subcuencas urbanas ha sido considerar que cada una de ellas vierte en un pozo, aunque en realidad no vierten en él directamente, sino que lo hacen en los tragantes a los que está unido, estos tragantes suelen ser dos (uno enfrente del otro en las calles) o tres en los cruces.

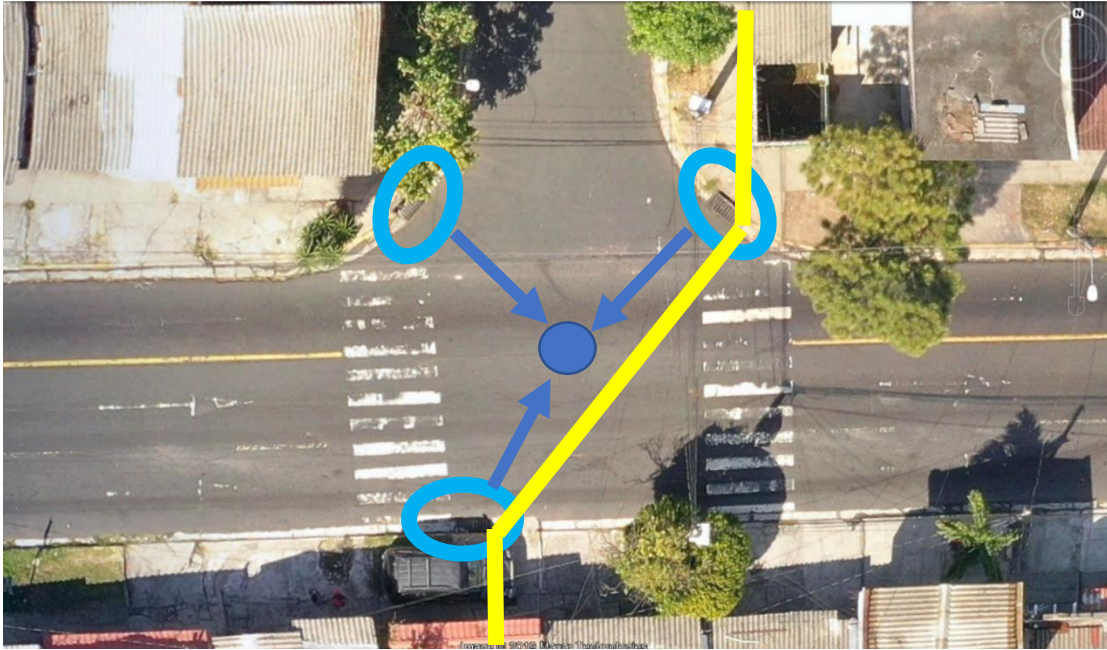


Imagen 23. 12. Detalle de punto de vertido en subcuenca urbana. Las elipses azules muestran donde está cada uno de los tragantes asociados a un pozo (círculo azul oscuro). La línea amarilla es el límite entre dos cuencas



Imagen 23. 13. En amarillo las subcuencas urbanas de estudio, en marrón las curvas de nivel y en azul la red de microdrenaje con los pozos como cuadrados blancos y negros.

Cálculo de caudales

Para conocer los caudales que fluirán por la calle y/o la red de microdrenaje hay que estimar los que se generan aguas arriba, ya que éstos pueden ser los causantes de los problemas de inundación viaria.

Puesto que la zona a analizar ya es de mayor envergadura que el tramo de calle, se procede a obtener los caudales con el software SWMM que simula la escorrentía superficial mediante modelo de depósito no lineal, computa el aporte de escorrentía superficial entre subcuencas y permite introducir en el estudio los SUDS como técnicas de desarrollo de bajo impacto y contabilizar la disminución del caudal de escorrentía

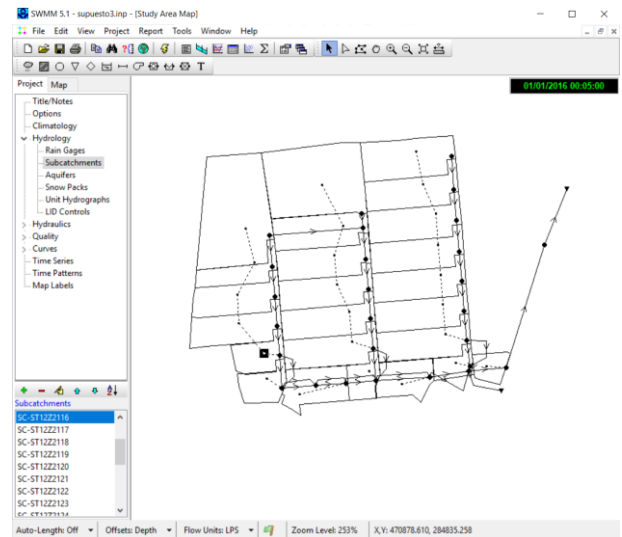


Figura 23. 10. Esquema de subcuencas urbanas y red de microdrenaje en SWMM.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

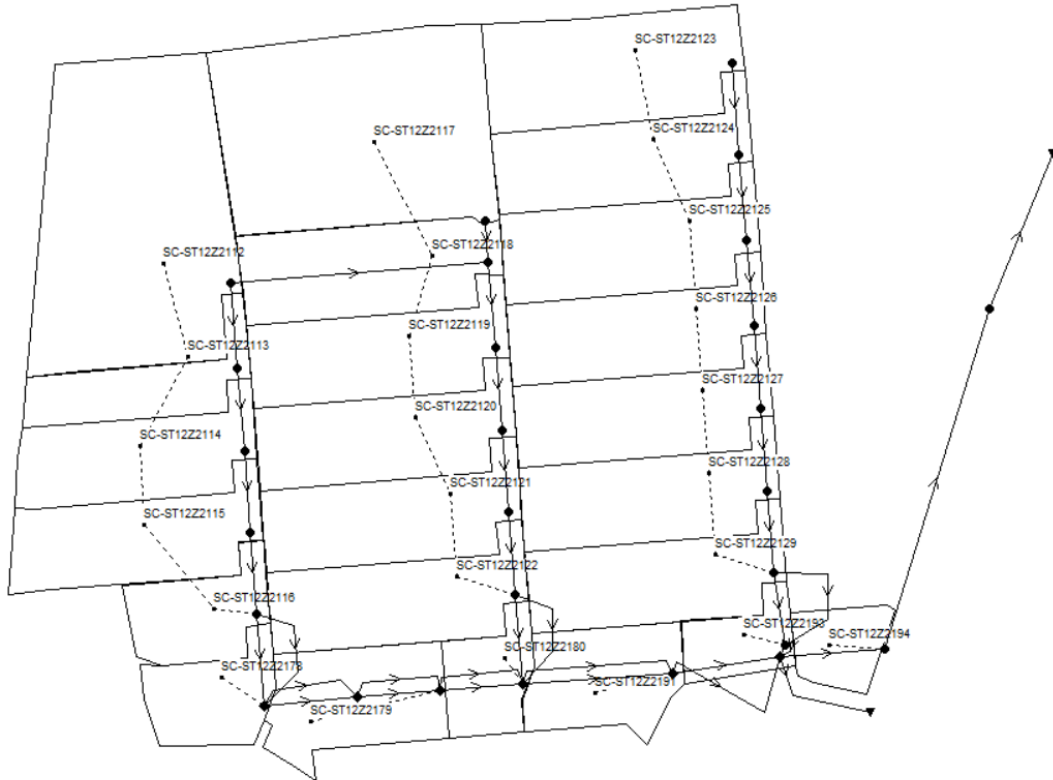


Figura 23. 11. Esquema de subcuencas urbanas con el nombre identificador.

Subcuenca urbana	Área (m2)	% Impermeabilización	Pendiente %	Caudal pico en m3/s	Volumen generado (m3)
SC-ST12Z2112	14670	45	3	0,65	650
SC-ST12Z2113	3200	95	4,2	0,75	880
SC-ST12Z2114	5060	95	4,6	0,85	1230
SC-ST12Z2115	5520	95	3,2	0,92	1620
SC-ST12Z2116	2500	95	2,8	0,95	1800
SC-ST12Z2117	13360	1	2,4	0,16	230
SC-ST12Z2118	5870	95	2,9	0,46	640
SC-ST12Z2119	5590	95	2,8	0,64	1040
SC-ST12Z2120	5480	95	2,7	0,74	1420
SC-ST12Z2121	5540	95	2,7	0,85	1810
SC-ST12Z2122	5510	95	2,3	0,92	2200
SC-ST12Z2123	8210	95	2,2	0,61	590
SC-ST12Z2124	5550	95	3,5	0,79	980
SC-ST12Z2125	6020	95	3,5	0,90	1400
SC-ST12Z2126	5540	95	3,6	0,98	1790
SC-ST12Z2127	5460	95	3,5	1,04	2170
SC-ST12Z2128	5590	95	3,6	1,09	2560
SC-ST12Z2129	5510	95	4,2	1,14	2950

Subcuenca urbana	Área (m2)	% Impermeabilización	Pendiente %	Caudal pico en m3/s	Volumen generado (m3)
SC-ST12Z2178	4800	99	2,5	0,37	350
SC-ST12Z2179	4580	95	7,4	0,36	330
SC-ST12Z2180	2290	95	0,5	0,18	160
SC-ST12Z2193	1880	95	4,5	0,30	280
SC-ST12Z2194	1790	85	0,7	0,15	130
SC-ST12Z2191	3930	95	5,3	0,14	120

Tabla 23. 6. Áreas, grado de impermeabilización, pendiente, caudales pico y volúmenes generados por cuenca.

Análisis de la situación actual

Comprobación de la red existente de microdrenaje

Actualmente la calle dispone de una red de pluviales compuesta de tragantes, pozos y tubos que captan y transportan la escorrentía generada en la calle de estudio y en las calles perpendiculares hasta la quebrada de Buenos Aires.



Imagen 23. 14. En azul, sentido del agua dentro de la red y en la superficie y delimitadas en granate, las subcuencas urbanas cuya escorrentía puede alcanzar la calle de estudio.

Para comprobar la capacidad hidráulica de la red existente se ha empleado también el software SWMM. Las rutinas de cálculo del programa se basan en los principios de Conservación de la Masa y Conservación de la Cantidad de Movimiento desarrollados por Saint Venant. EPA SWMM permite elegir entre

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

tres diferentes metodologías de cálculo del flujo en la red de drenaje, para este supuesto práctico se ha seleccionado el modelo de Onda Dinámica puesto que contempla todas las fuerzas actuantes, gravedad, fricción, presión e inercia, y permite simular los efectos de laminación, el almacenamiento en los conductos, los resaltos hidráulicos, las pérdidas en las entradas y salidas de los pozos de registro, el flujo inverso y el flujo presurizado, ya que considera las condiciones de contorno aguas abajo.

Las dimensiones de la red de drenaje actual son:

Pozo	Nivel (msnm)	Profundidad (m)
ST12Z2112	917,331	1,78
ST12Z2113	914,7568	2,31
ST12Z2114	911,9575	3,25
ST12Z2115	910,857	2,4
ST12Z2116	908,986	2,815
ST12Z2117	908,894	1,67
ST12Z2118	908,277	1,8
ST12Z2119	906,695	2,1
ST12Z2120	905,41	2,2
ST12Z2121	903,69	2,801
ST12Z2122	902,447	2,93
ST12Z2123	903,400	2,35
ST12Z2124	902,435	2,3
ST12Z2125	901,045	2,082
ST12Z2126	897,666	2,2
ST12Z2127	897,666	2,37
ST12Z2128	894,627	3,74
ST12Z2129	894,082	2,8
ST12Z2193	893,311	1,73
ST12Z2194	891,231	2,95
ST12Z2210	890,952	6
ST12Z2190	905,537	4,32
ST12Z2179	902,577	4,4
ST12Z2180	899,037	4,72
ST12Z2191	893,786	4,22
ST12Z2192	892,290	2,5
ST12Z2178	908,579	2,5

Tabla 23. 7. Nivel en el que se encuentra cada pozo (metros sobre el nivel del mar) y profundidad en metros.

Tubo	Pozo inicio	Pozo inicio	Longitud (m)	Diámetro (m)
ST12Z2112.1	ST12Z2112	ST12Z2113	44,1	0,44
ST12Z2113.1	ST12Z2113	ST12Z2114	41,87	0,44
ST12Z2114.1	ST12Z2114	ST12Z2115	42	0,6
ST12Z2115.1	ST12Z2115	ST12Z2116	41	0,6
ST12Z2116.1	ST12Z2116	ST12Z2178	46,8	0,76
ST12Z2117.1	ST12Z2117	ST12Z2118	20,6	0,44
ST12Z2118.1	ST12Z2118	ST12Z2119	43,8	0,44
ST12Z2119.1	ST12Z2119	ST12Z2120	42,2	0,6
ST12Z2120.1	ST12Z2120	ST12Z2121	41,9	0,6
ST12Z2121.1	ST12Z2121	ST12Z2122	42	0,77
ST12Z2122.1	ST12Z2122	ST12Z2180	44,9	0,76
ST12Z2123.1	ST12Z2123	ST12Z2124	46,6	0,44
ST12Z2124.1	ST12Z2124	ST12Z2125	43,6	0,44
ST12Z2125.1	ST12Z2125	ST12Z2126	44	0,44
ST12Z2126.1	ST12Z2126	ST12Z2127	42	0,6
ST12Z2127.1	ST12Z2127	ST12Z2128	42	0,6
ST12Z2128.1	ST12Z2128	ST12Z2129	42	0,73
ST12Z2129.1	ST12Z2129	ST12Z2193	38,15	0,76
ST12Z2178.1	ST12Z2178	ST12Z2190	47,5	0,76
ST12Z2179.1	ST12Z2179	ST12Z2180	42	0,76
ST12Z2180.1	ST12Z2180	ST12Z2191	77,1	1,05
ST12Z2190.1	ST12Z2190	ST12Z2179	42,6	0,76
ST12Z2191.1	ST12Z2191	ST12Z2192	54,8	1,1
ST12Z2192.1	ST12Z2192	ST12Z2194	53,6	1,22
ST12Z2194.1	ST12Z2194	ST12Z2210	181,1	1,52
ST12Z2210.1	ST12Z2210	AIRES_07	88,8	1,52
ST12Z2193.1	ST12Z2193	ST12Z2192	4,62	0,76

Tabla 23. 8. Dimensiones de los colectores de la red de microdrenaje.

Como hipótesis de partida se ha considerado que toda la escorrentía que se produce en la subcuenca urbana va a parar al pozo, pero en la realidad, las rejillas y tragantes tienen una capacidad limitada, sólo captan una parte del caudal que pasa sobre ellos, lo que deberá tenerse en cuenta más adelante.

Los resultados de la simulación del funcionamiento de la red para una tormenta de diseño de periodo de retorno de 10 años y una hora de duración, muestran la entrada en carga de varios de los conductos (trabajan a presión) y la salida de caudal por algunos de los pozos que, aunque no están en la calle Jabalí, pueden llegar a ella discurriendo por la superficie vial.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Pozo	Horas inundado	Volumen expulsado por el pozo (m3)
ST12Z2112	0,14	20
ST12Z2113	0,16	30
ST12Z2115	0,05	5
ST12Z2117	0,01	1
ST12Z2118	0,06	9
ST12Z2123	0,32	67
ST12Z2124	0,37	97
ST12Z2125	0,36	79
ST12Z2126	0,21	62

Tabla 23. 9. Volúmenes de escorrentía salientes por los pozos por incapacidad del sistema.



Figura 23. 12. En rojo, los tubos que entran en carga; en amarillo, los que transportan caudal a una capacidad superior al 75%; en verde mayor al 50 %; y en azul los que o no transportan agua o lo hacen con menos del 25% de llenado.

Según simulaciones, la red de tubos bajo la calle Jabalí entra en carga, pero no se produce una salida de agua por incapacidad por los pozos. Pero hay registros de que la calle se inunda con frecuencia. Esto puede deberse a varios motivos:

- Mal estado de la red (colapsos, taponamientos, etc)
- Obstrucción de tragantes
- Tragantes insuficientes aguas arriba

Los tragantes captan un porcentaje del flujo que pasa sobre ellos dependiendo de varios factores, el caudal de paso, la pendiente, el tamaño del hueco, la disposición de los huecos, ...



Imagen 23. 15. Dos Tragantes conectados a un mismo pozo con diferente tipología. Fuente: Google Earth.

Una forma simplificada de hallar el caudal máximo de paso es mediante la relación:

$$Q = \frac{P \cdot H^{3/2}}{60}$$

Ecuación 23. 8. Estimación del caudal que puede pasar por un tragante.

Q, (l/s) caudal que pasa de la calle al tragante y por tanto entra a la red (l/s)

P, (cm) perímetro de la rejilla

H, (cm) altura de la lámina de agua a la entrada del tragante

Como perímetro de la rejilla (referido al perímetro hueco) se ha escogido una reja tipo con marco de 400mm x 800mm, altura libre de 45mm y paso libre 710mm x 320mm; con lo que el valor es de 206cm.

La altura se ha estimado en SWMM considerando la circulación por las calles del caudal máximo generado en las subcuencas, variando entre los 3 y 7 cm. Con estos valores se obtienen caudales de entrada por tragante muy inferiores a los generados en las subcuencas que están en orden de los centenares de l/s. Por tanto, aunque la red tuviera capacidad suficiente, no entraría gran parte del caudal que se acumularía en las calles.

Esta aproximación simplificada obvia un factor importante a tener en cuenta, las pendientes de las calles, ya que reducen la capacidad de absorción de agua en estos elementos. Por lo que los caudales que entrarán en la red, serán inferiores a los estimados.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS



Gráfico 23. 3. Perfil de elevaciones de una de las calles vertientes a la calle de estudio. Fuente: Google Earth

5. Creación del modelo SUDS

En la creación del modelo SUDS se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- La presencia de Tierra Blanca Joven que impide la infiltración
- La pendiente de la calle, que está en torno al 6%, lo que derivará en la consideración de aterrazamientos para SUDS largos y que limita la capacidad de caudal que pueda entrar a los sistemas de drenaje
- La necesidad de espacio para parqueo, actualmente se estacionan coches obre arriates abandonados o entradas a viviendas.
- La limitación del espacio a intervenir ya que al tratarse de una zona altamente transitada solo podrán ejecutarse sistemas en las aceras.
- El estado de la red actual de microdrenaje.

Creación de una cadena o tren de drenaje

Pretratamiento-medidas no estructurales

Empezando por el primer eslabón, la propuesta en temas de prevención será desdoblarse los tragantes, es decir, donde haya uno, poner otra caja tragante seguida conectada al mismo tubo que lleva el agua al pozo.

Aun así, no se podrá captar toda el agua que circula por las calles perpendiculares a la de estudio antes de que la alcancen.

Control en origen

Siguiendo con la cadena, para captar la escorrentía y evitar que, en algunos casos llegue a producirse se proponen unas técnicas de control en origen/local:

- Superficies permeables con capacidad de almacenamiento que sirvan de parqueo

- Áreas de biorretención en sustitución de los arriates degradados que se mantengan por estética urbana.

Dada la limitación de espacio, se han estimado las áreas dentro de la calle susceptibles de ser transformadas y a partir de ahí los volúmenes máximos que podrían gestionar.



Imagen 23. 16. Tramo de actuación. Las flechas en azul indican el sentido de la escorrentía superficial.
Fuente: Google Earth.

La intervención propuesta en el modelo conceptual es sobre la parte de la acera pegada a la calzada, donde se encuentran los arriates y los coches parquean. Para el modelo conceptual se ha supuesto que un tercio de la longitud de cada acera tendrá arriates de biorretención, otro tercio serán parqueos permeables con lecho de almacenamiento y el resto el espacio que ocupan pasos a casas o árboles desarrollados.

Para permitir la entrada de agua a los SUDS, los parqueos permeables estarán al mismo nivel que la cuneta de la calzada (o un poco más bajo ya que irán horizontales y la calle tiene pendiente) y los arriates de biorretención estarán separados de ella por bordillos discontinuos que permitan el paso del agua entre los huecos pero que sirvan de límite que evite la entrada de automóviles.

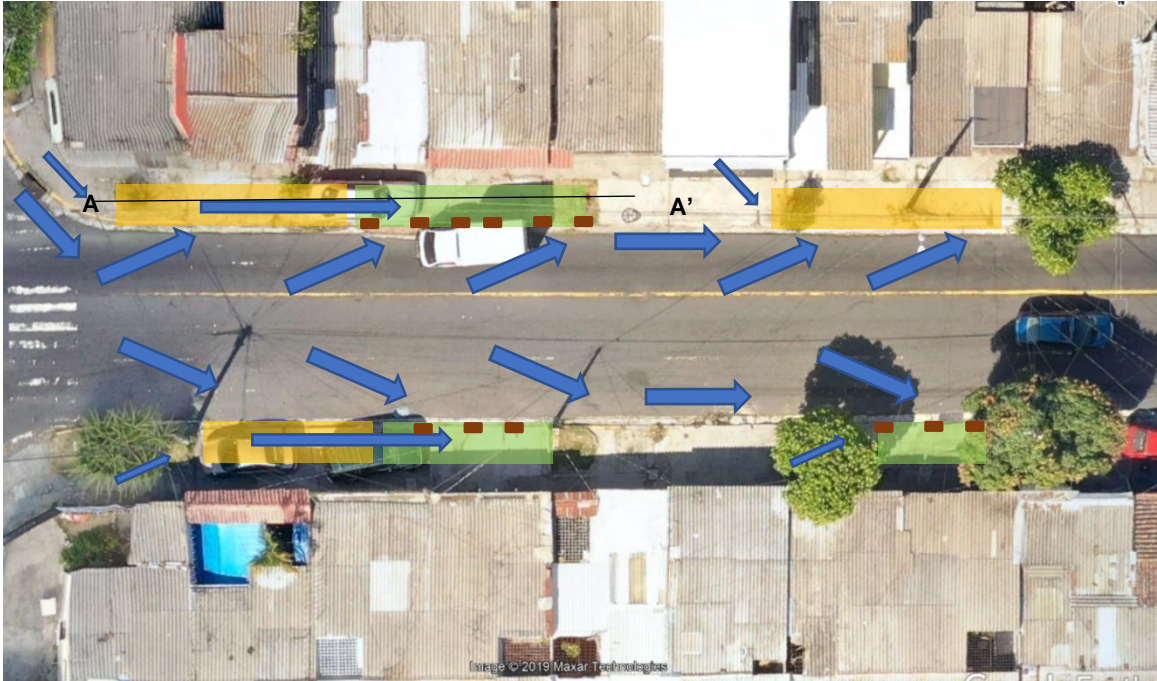


Imagen 23. 17. Ejemplo de ubicación de SUDS. Las franjas naranjas simbolizan parqueos permeables y las verdes, arriates de biorretención. Las flechas en azul indican el sentido de la escorrentía superficial. Y las líneas discontinuas en marrón, bordillos abiertos para que pase el agua. Fuente: Google Earth.

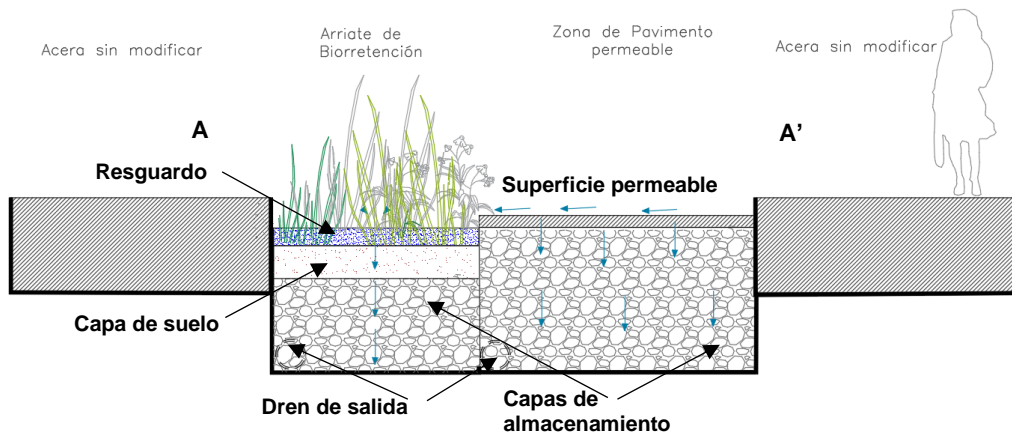


Figura 23. 13. Corte A-A. En azul el sentido del agua. Al final de cada elemento hay un tubo dren que saca el agua hacia la red de drenaje (sin escala).

El agua de la calzada y de la zona transitable de la acera entran a los SUDS porque se encuentra a cota más baja (la superficie permeable como el cordón cuneta y el arriate de biorretención por estar deprimido).

Las capas de almacenamiento hacen las veces de depósitos de detención y el caudal sale laminado por tubos drenes localizados en la capa de grava.

Los volúmenes estimados de almacenamiento se especifican en la siguiente tabla:

	Acera Norte 1		Acera Norte 2		Acera Sur	
	AB	PP	AB	PP	AB	PP
Largo total de la acera (m)	116	116	119	119	186	186
Largo del SUDS (m)	34,8	34,8	35,7	35,7	55,8	55,8
Ancho acera (total) (m)	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35
Ancho arriate/parqueo (m)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Resguardo arriate (zona para el encharcamiento de agua) (m)	0,2	0	0,2	0	0,2	0
Profundidad suelo para plantación (m)	0,5	0	0,5	0	0,5	0
Profundidad capa almacenamiento (gravas 40% huecos) (m)	1	1,5	1,5	1,5	1	1,5
Área filtrante (m²)	62,64	62,64	64,26	64,26	100,44	100,44
Volumen de retención por técnica	46,98	37,58	61,05	38,56	75,33	60,26
Volumen de retención en tramo de acera(m³)	84,56		99,60		135,59	

Tabla 23. 10. Volúmenes de retención estimados en el tramo de calle de estudio. AB es arriate de retención y PP, pavimento permeable.

El volumen de escorrentía generado en las áreas de aportación de la Acera Norte 1 es de 285 metros cúbicos, más de tres veces el volumen que se puede almacenar si no se tiene en cuenta que además podría entrar parte del agua de escorrentía de la calle perpendicular de aguas arriba por el cordón cuneta.

En el resto de los casos, también se genera más volumen del que hay capacidad para almacenar, lo que es algo normal dadas las intensidades de la zona.

Siguiendo con el tramo de la Acera Norte 1, se debe comprobar que el volumen entrante en cada uno de los arriates de biorretención a una velocidad que permite que la infraestructura se vacíe en menos de 24 horas.

Este se puede establecer a partir de la ecuación de determinación del área de biorretención que aparece en el Módulo 2, considerando que toda el agua generada en las áreas aportantes (techos de las casas de esa acera, acera completa y sección desde el centro de la calle hasta la acera)

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

Ecuación 23. 9. Estimación del área mínima que ha de tener el sistema de biorretención.

- A_A = Área superficial del arriate de biorretención, 62,64 m²

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

- V_E = Volumen máximo que podría entrar al sistema, 285 m³
- L = Altura total del relleno, 1,5 m
- h = Altura de la lámina de agua encima del suelo, 0,2 m
- k = Coeficiente de permeabilidad de la matriz porosa predominante, se adopta el valor típico de 10⁻³ m/s
- t = Tiempo de percolación del agua a través de la matriz porosa, que para este caso son poco menos de **4 minutos**.

Control local

La escorrentía almacenada bajo el pavimento permeable y en el arriate de biorretención ha de salir por un punto controlado y llevada de forma segura hasta un punto más abajo.

Puesto que el problema principal es que el agua no entra en la red de microdrenaje, se propone que el excedente se transporte mediante una canaleta hacia el pozo situado aguas abajo, es decir, en aquel pozo en el que entra el agua de esas mismas áreas aportantes a través de los tragantes.

La canaleta discurre de forma paralela a los SUDS de manera que recibe directamente el caudal por conexión del dren.



Imagen 23. Esquema de localización de la canaleta, recorre toda la acera desde el primer SUDS de forma paralela (representada mediante la fecha azul). El agua sale por uno o varios drenes a la canaleta (flechas negras) y se transporta hasta una caja (cuadrado negro) cerca de la caja tragante desde donde sale el colector al pozo (punto negro en la representación). *Fuente: Google Earth.*

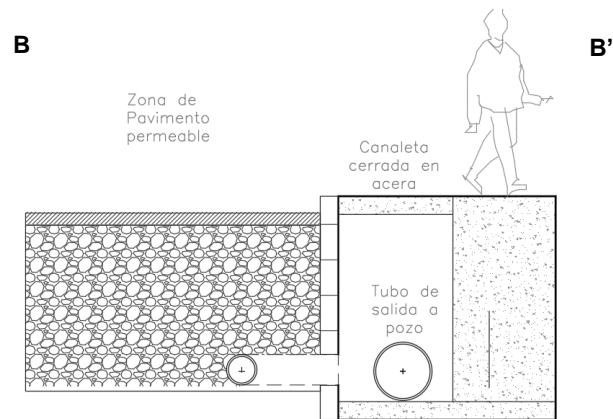


Figura 23. 14. Sección tipo en acera, con superficie permeable y canaleta de desagüe.

Las dimensiones de la canaleta se han seleccionado en función del poco espacio disponible en acera, por lo que se les ha dado un ancho de 30 cm. La pendiente será la de la calle y la altura mínima de 1,75 metros ya que ha de transportar el caudal saliente desde la base de las capas de almacenamiento. Ha de comprobarse que tiene capacidad suficiente, para lo que se empleará la ecuación de Manning.

Q (m ³ /s)	2,22
Ancho (m)	0,30
Pendiente (m/m)	0,06
"n" Manning	0,015
y "NORMAL" (m)	1,700
y "CRÍTICA" (m)	1,775
V"normal" (m/s)	4,36
V"crítico" (m/s)	4,17
Froude	1,07
Tipo de flujo	SUPERCRÍTICO

Tabla 23. 11. Caudal máximo que puede circular por la canaleta.

El caudal máximo que se puede transportar es de 2,22 m³/s, caudal superior al que transportan los colectores que actualmente hay instalados.

6. Proyecto SUDS

Discretización de las áreas de aportación

Una vez creado el modelo conceptual, puesto que se especifica para cada acera, las áreas aportantes varían, es decir, se discretiza. Siguiendo con la Acera 1 Norte, las áreas aportantes quedarían:



*Imagen 23. 18. En verde la parte aportante de la calle perpendicular aguas arriba; sólo se considera la mitad de la calle por el bombeo de la calzada, esa zona será la que transporte el cordón cuneta a la calle Jabalí. En rojo, la parte de la calle que genera caudal a gestionar por los SUDS de la Acera 1 Norte.
Fuente: Google Earth.*

Puesto que en la fase de caracterización de la zona de proyecto se estimaron las alturas que alcanza la lámina de agua sobre la acera y se observó que era inferior a 6 cm en esa zona (altura inferior al bombeo de la calle, es decir, que el agua de las cuencas urbanas discurre por los cordones cuneta dividida por el centro de la calle), sólo la parte de caudal circulante por el cordón cuneta que gira en la acera hacia la calle Jabalí, será el susceptible de entrar en los SUDS de la Acera Norte 1.

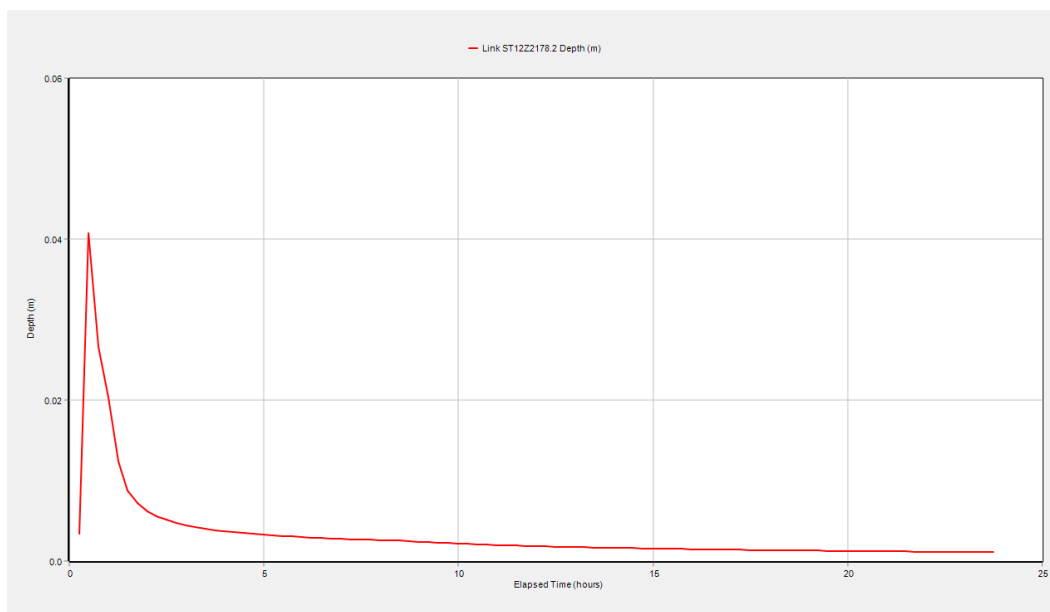


Gráfico 23. 4. Altura que alcanzaría el agua discurrendo por el cordón cuneta antes de la entrada por el tragante de la esquina con la calle Jabalí. Fuente: Elaboración propia

El caudal que admita el tragante dependerá de la altura de la lámina sobre él, que en este caso (discretizada el área aportante en color verde como se ve en la Imagen 23.11) son 4 cm. Volviendo a aplicar la ecuación de estimación de caudal sobre tragante, el caudal máximo que entraría es de cerca de 27,5 l/s y el caudal máximo circulante por la calle de 42 l/s. Por tanto, se confirma la necesidad de desdoblarse el tragante para ampliar la sección de paso y evitar así que el agua llegue a la calle Jabalí.

En el tramo de estudio Acera Norte 1 la escorrentía susceptible a tratarse por los SUDS que se ubican en las aceras se genera en los techos y las viviendas de las casas, la propia acera y la mitad de la calzada (el bombeo de la calle divide el caudal hacia los cordones cuneta), lo que en la Imagen 23.1 viene remarcado en rojo.

En total se trata de una extensión de 0,29 hectáreas en su mayor parte impermeable, salvando algunos arriates en buen estado. Los caudales generados y la altura que alcanza la lámina de agua en la calle se exponen a continuación:

Pasos de tiempo	Caudal en la calle (L/S)	Profundidad del agua en la calle (m)
0:10:00	42,48	0,05
0:20:00	40,72	0,04
0:30:00	163,31	0,07

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Pasos de tiempo	Caudal en la calle (L/S)	Profundidad del agua en la calle (m)
0:40:00	75,57	0,05
0:50:00	37,17	0,04
1:00:00	26,57	0,03
1:10:00	7,57	0,02
1:20:00	3,03	0,01
1:30:00	1,70	0,01
1:40:00	1,08	0,01
1:50:00	0,78	0,01
2:00:00	0,60	0,01
2:10:00	0,48	0,01
2:20:00	0,39	0,01
2:30:00	0,33	0,01
2:40:00	0,28	0,01
2:50:00	0,24	0,00
3:00:00	0,21	0,00
3:10:00	0,19	0,00
3:20:00	0,17	0,00
3:30:00	0,15	0,00
3:40:00	0,14	0,00
3:50:00	0,13	0,00
4:00:00	0,12	0,00
4:10:00	0,11	0,00
4:20:00	0,10	0,00
4:30:00	0,09	0,00
4:40:00	0,08	0,00
4:50:00	0,08	0,00
5:00:00	0,07	0,00
5:10:00	0,07	0,00
5:20:00	0,07	0,00
5:30:00	0,06	0,00
5:40:00	0,06	0,00
5:50:00	0,06	0,00
6:00:00	0,05	0,00

Tabla 23. 12. Hidrograma generado en el tramo de estudio correspondiente con la Acera Norte 1 y nivel de la lámina de agua en fracciones de tiempo.

Estos resultados proceden de simular con el software SWMM la circulación del caudal generado en el área aportante (marcado en rojo en Imagen 23.11) por una sección tipo que equivale a la superficie de la calle:

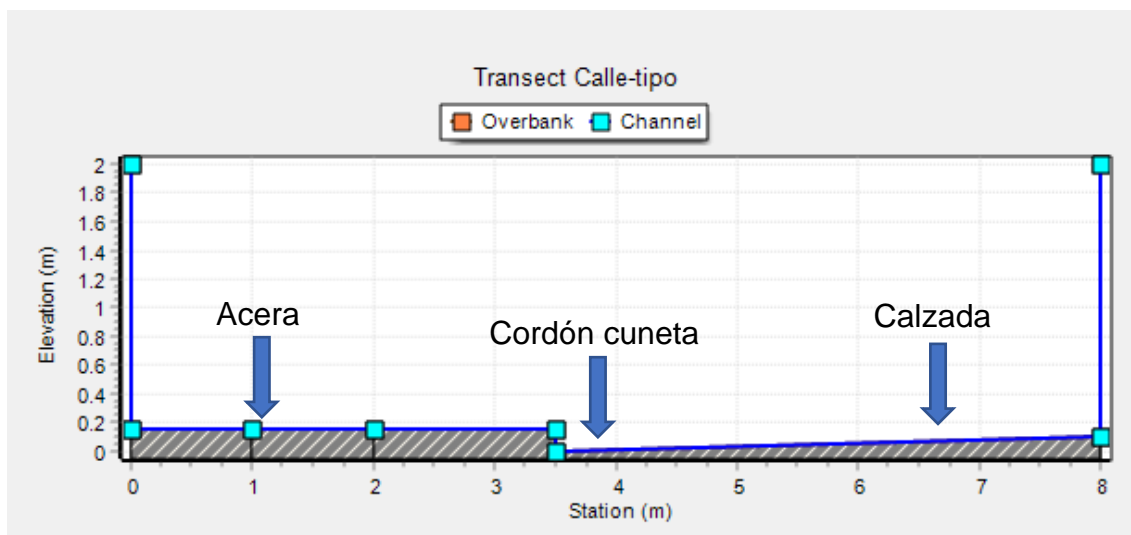


Gráfico 23. 5. Corte de la calle considerada como sección de elemento por el que circula el agua. Fuente: Elaboración propia

Para analizar el funcionamiento de los SUDS propuestos en este tramo, Acera Norte 1, se incluyen en el modelo creado teniendo en cuenta las dimensiones definidas en el modelo conceptual. Por motivos estéticos y para una distribución homogénea de los espacios en la calle, se propone dividir cada una de las técnicas en 6, de manera que se alternen espacios de pavimento permeable, biorretención y pasos vehiculares a casas o árboles a mantener.

	Acera Norte 1	
	AB	PP
Largo de cada SUDS (m)	5,8	5,8
Ancho arriate/parqueo (m)	1,8	1,8
Resguardo arriate (zona para el encharcamiento de agua) (m)	0,2	0
Profundidad suelo para plantación (m)	0,5	0
Profundidad capa almacenamiento (gravas 40% huecos) (m)	1	1,5
Número de técnicas	6	6
Área filtrante de cada técnica (m ²)	10,4	10,4
Volumen de retención por técnica	7,8	6,25
Volumen de retención en tramo de acera(m ³)	84,56	

Tabla 23. 13. Dimensiones de cada uno de los 6 SUDS propuestos para el tramo Acera Norte (6 áreas de biorretención y 6 parques permeables). AB es arriate de biorretención y PP es pavimento permeable

En la simulación se ha considerado que el agua de la zona impermeable se dirige hacia estos SUDS antes de llegar al tragante de la esquina aguas abajo, ya que por cotas, al estar en zonas ligeramente deprimidas, el agua se dirigirá hacia allá.

Considerando que por una parte se almacena el agua en los huecos de cada una de las técnicas y que al ponerse pavimento permeable y espacios verdes

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

(las áreas de biorretención son suelo verde) se reduce el coeficiente de escorrentía de la cuenca urbana y los niveles de caudal y de altura de la lámina de agua en la calle se reducen considerablemente como puede observarse en la tabla:

Pasos de tiempo	Caudal en la calle (L/S)	Profundidad del agua en la calle (m)
0:10:00	0,00	0,00
0:20:00	6,75	0,02
0:30:00	78,53	0,05
0:40:00	71,98	0,05
0:50:00	37,06	0,04
1:00:00	26,59	0,03
1:10:00	7,03	0,02
1:20:00	2,78	0,01
1:30:00	1,56	0,01
1:40:00	0,99	0,01
1:50:00	0,72	0,01
2:00:00	0,55	0,01
2:10:00	0,44	0,01
2:20:00	0,36	0,01
2:30:00	0,30	0,01
2:40:00	0,26	0,00
2:50:00	0,22	0,00
3:00:00	0,20	0,00
3:10:00	0,18	0,00
3:20:00	0,16	0,00
3:30:00	0,14	0,00
3:40:00	0,13	0,00
3:50:00	0,12	0,00
4:00:00	0,11	0,00
4:10:00	0,10	0,00
4:20:00	0,09	0,00
4:30:00	0,09	0,00
4:40:00	0,08	0,00
4:50:00	0,08	0,00
5:00:00	0,07	0,00
5:10:00	0,07	0,00
5:20:00	0,06	0,00
5:30:00	0,06	0,00
5:40:00	0,06	0,00

Pasos de tiempo	Caudal en la calle (L/S)	Profundidad del agua en la calle (m)
5:50:00	0,05	0,00
6:00:00	0,05	0,00

Tabla 23. 14. Hidrograma generado en el tramo de estudio correspondiente con la Acera Norte 1 con SUDS y nivel de la lámina de agua en fracciones de tiempo.

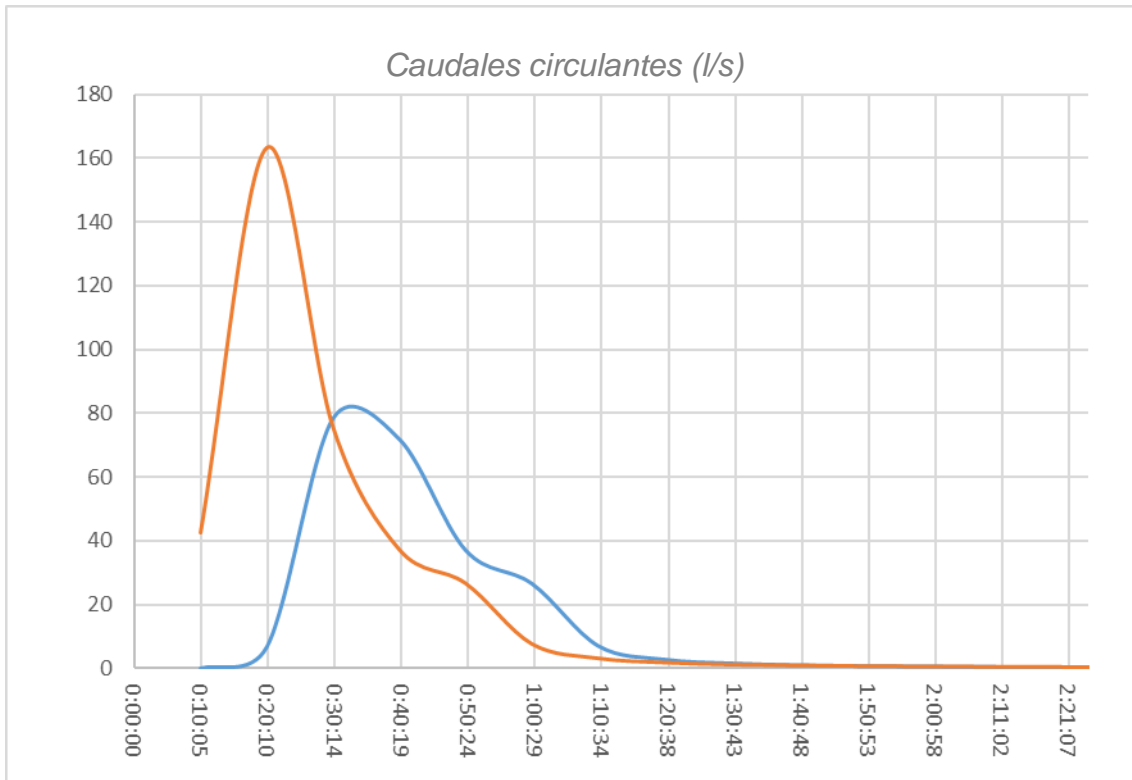


Gráfico 23. 6. Hidrogramas en el tramo de calle de estudio, en naranja situación actual (sin SUDS) y en azul situación prevista con SUDS. Fuente: Elaboración propia

Para el tramo de estudio, el caudal se consigue laminar considerablemente, por tanto, se considera una solución óptima a incorporar.

En el proceso de diseño se debe realizar la simulación para todos y cada uno de los tramos, incorporando en el cálculo el número de drenes necesario, sus dimensiones y el transporte del caudal laminado por la canaleta. También la selección del tipo de bordillo empleado y sus áreas de apertura (para permitir que el agua de la calzada entre al arriate de biorretención). Respecto a la superficie permeable hay que definir del tipo que es y su permeabilidad, para este caso se propone concreto permeable dada su alta eficacia en la absorción de escorrentía por toda la superficie.

Vegetación

Puesto que la profundidad de la mezcla de suelo es de solo medio metro, se deberán plantar especies herbáceas como las recomendadas en el Módulo IV.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Mantenimiento

El mantenimiento de los SUDS implementados dependerá del responsable de la calle, que en este caso es la municipalidad. Para facilitar las tareas a los encargados de mantenimiento, se entregan unas listas de chequeo con los principales puntos a comprobar.

Para los arriates de biorretención:

Elementos de inspección	Estado			Comentario
	Bueno	Mínimamente aceptable	Malo	
Inspección general				
Estado del acceso para tareas de inspección y mantenimiento				
El área está limpia (no hay basuras, sedimentos ni restos de siega)				
Estructura de entrada				
Los tubos/canales de entrada están libres de basuras, sedimentos, ramas, ...				
La zona alrededor de la estructura tiene la hierba cortada y los restos de la siega retirados				
No hay evidencias de pequeñas cárcavas, ni erosiones en la entrada a la estructura				
El agua entra a la estructura por la vía diseñada a tal fin				
Si hay algún by-pass o elemento de derivación, está limpio de restos, basuras o sedimentos				
Pretratamiento				
Cámara de decantación: sin basuras, restos ni sedimentos				
Vertedero: libre de basuras y los sedimentos no alcanzan el 25% de la altura total del vertedero				
Franja o cuneta vegetada: la hierba ha de estar segada y la superficie limpia de restos y sedimentos. No ha de mostrar signos de erosión				
Entrada a través de una franja de gravas gruesas: zona libre de basuras, restos o sedimentos. El espesor de gravas no se ha reducido.				
Tratamiento principal				
La zona principal de biorretención está libre de basuras, restos o sedimentos				
Hay elementos protectores contra la erosión a la salida				
¿Qué elementos de control de la erosión hay presentes? ¿en qué condiciones están?				
¿Hay evidencias de almacenamiento de agua durante un largo periodo de tiempo? (lodo, malos olores, larvas de mosquito, ...)				

Elementos de inspección	Estado			Comentario
	Bueno	Mínimamente aceptable	Malo	
La estructura parece estar funcionando correctamente. Comentar el estado general de la estructura				
La vegetación dentro y alrededor del área de biorretención se mantiene según el plan de paisajismo.				
Se siega y recogen los restos de hierba y resto de plantas.				
Se han empleado las plantas nativas.				
No hay evidencia de uso de fertilizantes en las plantas (capa de fertilizante en la superficie del suelo, las puntas de las hojas amarillean, las raíces están ennegrecidas, ...)				
Las plantas parecen estar sanas y en buenas condiciones. Comentar su estado.				
Desbordamiento de emergencia: rebosadero				
El desbordamiento de emergencia está libre de basura, escombros y sedimentos.				
No hay evidencia de erosión, socavación o inundación alrededor de la estructura.				
Estructura de salida				
La estructura de salida está libre de basura, escombros y sedimentos.				
No hay evidencia de erosión, socavación o inundación alrededor de la estructura.				
Resultados				
Condición general en la que se encuentra el Área de Biorretención:				
Comentarios adicionales				

N/A: Si algún elemento no se ha podido inspeccionar, marcar y explicar el motivo en comentarios

Tabla 23. 15. Revisiones que realizar en las áreas de biorretención.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Y para el concreto permeable:

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

N/A: Si algún elemento no se ha podido inspeccionar, marcar y explicar el motivo en comentarios

Tabla 23. 16. Revisiones que realizar en el pavimento permeable.

7. Informe final SUDS

En el informe final para la obtención de los permisos pertinentes, se deberán incluir unas fichas donde se especifiquen las dimensiones de cada elemento y los volúmenes/caudales que se gestionan en ellos.

También se deben incorporar las características técnicas de los materiales empleados y los resultados de las pruebas de porosidad del material de la capa de almacenamiento empleada y de la impermeabilidad de la geolámina empleada para evitar las infiltraciones en el terreno.



Sistemas Urbanos de Drenaje
Sostenible en el AMSS

Diseño de SUDS para el AMSS: Espacio Verde Capítulo 24



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Supuesto práctico 4: Modelo con SUDS para un espacio verde

Introducción

Este supuesto propone la remodelación de una pequeña isleta situada en El Escalón para que, además de ser un elemento que separa el tráfico, sirva para añadir un valor estético en la calle donde se encuentra y pase también a gestionar de forma sostenible la escorrentía que ahí y en una de las calles cercanas se genera.



Imagen 24. 19. En el círculo amarillo, el espacio verde objeto de estudio, una isleta separadora de tráfico.
Fuente: Google Maps

Objetivo del proyecto:

Reconvertir una isleta en un espacio verde para su uso como elemento de gestión de pluviales y como ornamento vial.

Modelo conceptual de un SUDS para un espacio verde público

Análisis de la zona de proyecto

La isleta se encuentra en la calle Mirador con la 11 Poniente de la Colonia Escalón. Actualmente es un espacio con grama que sirve de descanso peatonal en el cruce en sus extremos.



Imagen 24. 20. Imagen de la isleta. Fuente: Elaboración propia

Se trata de un pequeño espacio de unos 120 metros cuadrados que sirve para distribuir el tráfico entre las calles Mirador y 11 Poniente. La pendiente de la zona es bastante marcada. El perfil de la calle 11 muestra una pendiente descendiente en el sentido oeste este del 4% y de la calle Mirador del 6,3%.



Gráfico 24. 7. Perfil de elevaciones de la calle 11 en la zona de estudio. Fuente: Google Earth.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

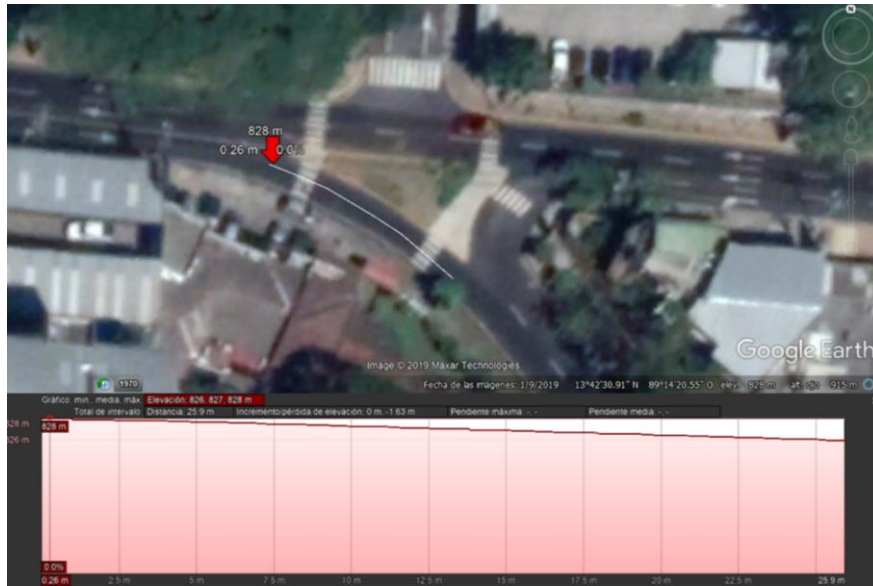


Gráfico 24. 8. Perfil del tramo de la calle Mirador donde se ubica la isleta. Fuente: Google Earth.

Por las pendientes de la zona y la localización de la isleta, el agua de escorrentía circula según flechas azules en la imagen:



Imagen 24. 21. Sentido del agua de escorrentía en la zona de estudio. Fuente: Google Maps

El agua de la calle que queda justo aguas arriba en el sentido Norte-Sur que no penetra en los tragantes de las esquinas va hacia la zona verde de la isleta y de ahí, discurre por la calle 11.

Diseño de SUDS para el AMSS: Espacio verde público

Dimensiones

Puesto que se trata de un espacio verde que se quiere mantener como verde, incrementando la diversidad de especies vegetales para darle un toque ornamental a la isleta, el SUDS que mejor encaja es un sistema de biorretención.

Se tratará de un elemento de control en origen ya que gestionará la precipitación que recibe directamente.

Cálculo de caudales

Se empleará una lluvia de período de retorno de 10 años de la estación meteorológica más cercana, Procafé y una hora de duración. Para la obtención de la misma se han empleado las las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de dicha estación meteorológica:

$$I = \frac{10.72738 \cdot T^{0.21884}}{D^{0.63024} + 1.00332}$$

Ecuación 24. 10. Ecuación de las curvas IDF empleada en este supuesto caso práctico.

- I, Intensidad en mm/min
- T, periodo de retorno en años
- D, duración de la tormenta en minutos

Estimación del volumen de retención

Para la estimación de los volúmenes de diseño se ha incluido la zona vertiente de la calle aguas arriba por el estado de los imbornales, que apenas permite la entrada de escorrentía.

Área aportante	Superficie (m ²)	Coef. Escorrentia	Volumen (m ³)
Isleta (suelo de grama)	95	0,3	1,7
Isleta (suelo de concreto)	25	0,9	2,1
TOTAL Volumen generado (m ³)			3,8

Tabla 24. 17. Volúmenes de generados con una tormenta de diseño de Tr 10 años y 1 hora de simulación. Fuente: Elaboración propia

Dado que la zona no es la idónea para la infiltración, se propone la retención de la escorrentía en el sistema de biorretención y la salida mediante un dren inferior

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

que conecta con la red de pluviales. Como no hay especificaciones de cuales han de ser los caudales de salida, en este supuesto se parte de que se retendrá todo el volumen generado.

El área de acumulación de agua está limitada a la parte central de la isleta, ya que se mantendrán los trozos de concreto que sirven al peatón de cruce seguro de la calle. Como la isleta en sí no es transitable en la parte central, se rodeará de un bordillo protector (modificado en el lateral norte para la entrada de escorrentía) lo que facilita la instalación de taludes menos suaves y que, por tanto, permite una mayor superficie de filtración, de 45 m².

Los taludes que rodean al área de filtración tienen un ancho de 1 metro, tienen una pendiente 3H:1V, por lo que permiten un resguardo de almacenamiento de unos 30 cm.

El volumen que se puede almacenar en la zona deprimida de encharcamiento es de unos 18,75 metros cúbicos valor superior al que se necesita incluso sin contar con el espacio de huecos en la capa de almacenamiento.

Por ello se plantea permitir la entrada de caudal desde la calzada tomando como límites de esta área aportante los tragantes presentes en la esquina:



Imagen 24. 22. En turquesa el tramo de calle que genera escorrentía susceptible de ir a la isleta y los recuadros azules representan los tragantes del lugar. Fuente: Google Maps

Diseño de SUDS para el AMSS: Espacio verde público

El volumen generado es de 7 metros cúbicos, que sumados a los 3,8 de la propia isleta, sigue siendo inferior a la capacidad de almacenamiento en la zona de encharcamiento.

Dado el mayor volumen disponible, y por ahorrar costes en materiales, los espesores de las capas de suelo y almacenamiento no serán gruesos. Se propone de 50 cm de mezcla de suelo que permite el crecimiento de herbáceas y flores y de 30 cm de gravas para que haya cabida suficiente para un dren ranurado de 200 mm de diámetro que evacúe el agua filtrada hacia la red de drenaje.

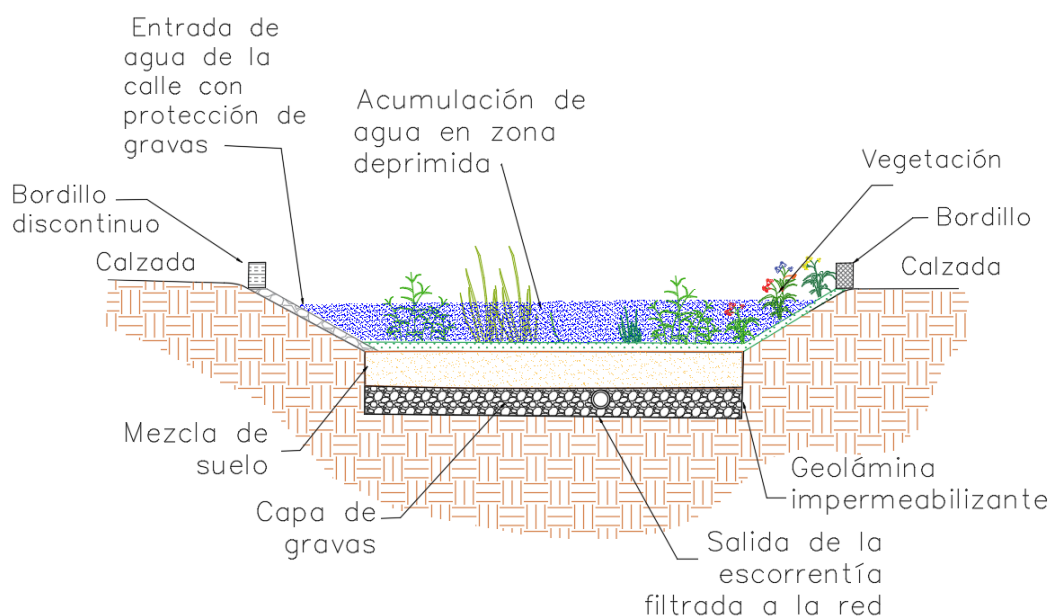


Figura 24. 15. Sección del sistema de biorretención propuesto. Fuente: Elaboración propia

Ya que por una parte entrará agua procedente de la calle, el talud por el que entra esa escorrentía debe protegerse con rocas o gravas que reduzcan la velocidad de entrada de la escorrentía. El resto de los taludes puede ir con grama.

Estimación del tiempo que tarda el agua en atravesar la sección

Al tratarse de una mezcla de suelo, el agua tarda en descender por ella, por ello una vez definidos los volúmenes hay que comprobar que tiene una forma (área y altura) que permiten la rápida percolación a su través.

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

Ecuación 24. 11. Estimación del área mínima que ha de tener el sistema de biorretención.

- A_J = Área superficial del sistema de biorretención, 45 m²
- V_E = Volumen que entra al sistema, 11 m³
- L = Altura total del relleno, 0,8 m
- h = Altura de la lámina de agua encima de la matriz, 0,3 m
- k = Coeficiente de permeabilidad de la matriz porosa predominante, se adopta el valor típico de 10⁻³ m/s
- t = Tiempo de percolación del agua a través de la matriz porosa (segundos)

El valor resultante es de 5 minutos, lo que indica una rápida filtración.

Para este supuesto práctico no se propone la instalación de un rebosadero de emergencia ya que las dimensiones son mayores de las que se necesitan.



Sistemas Urbanos de Drenaje
Sostenible en el AMSS

Diseño de SUDS para el AMSS: Espacio Verde Capítulo 24



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Supuesto práctico 4: Modelo con SUDS para un espacio verde

Introducción

Este supuesto propone la remodelación de una pequeña isleta situada en El Escalón para que, además de ser un elemento que separa el tráfico, sirva para añadir un valor estético en la calle donde se encuentra y pase también a gestionar de forma sostenible la escorrentía que ahí y en una de las calles cercanas se genera.



Imagen 24. 23. En el círculo amarillo, el espacio verde objeto de estudio, una isleta separadora de tráfico.
Fuente: Google Maps

Objetivo del proyecto:

Reconvertir una isleta en un espacio verde para su uso como elemento de gestión de pluviales y como ornamento vial.

Modelo conceptual de un SUDS para un espacio verde público

Análisis de la zona de proyecto

La isleta se encuentra en la calle Mirador con la 11 Poniente de la Colonia Escalón. Actualmente es un espacio con grama que sirve de descanso peatonal en el cruce en sus extremos.



Imagen 24. 24. Imagen de la isleta. Fuente: Elaboración propia

Se trata de un pequeño espacio de unos 120 metros cuadrados que sirve para distribuir el tráfico entre las calles Mirador y 11 Poniente. La pendiente de la zona es bastante marcada. El perfil de la calle 11 muestra una pendiente descendiente en el sentido oeste este del 4% y de la calle Mirador del 6,3%.



Gráfico 24. 9. Perfil de elevaciones de la calle 11 en la zona de estudio. Fuente: Google Earth.

Diseño de SUDS para el AMSS: Espacio verde público

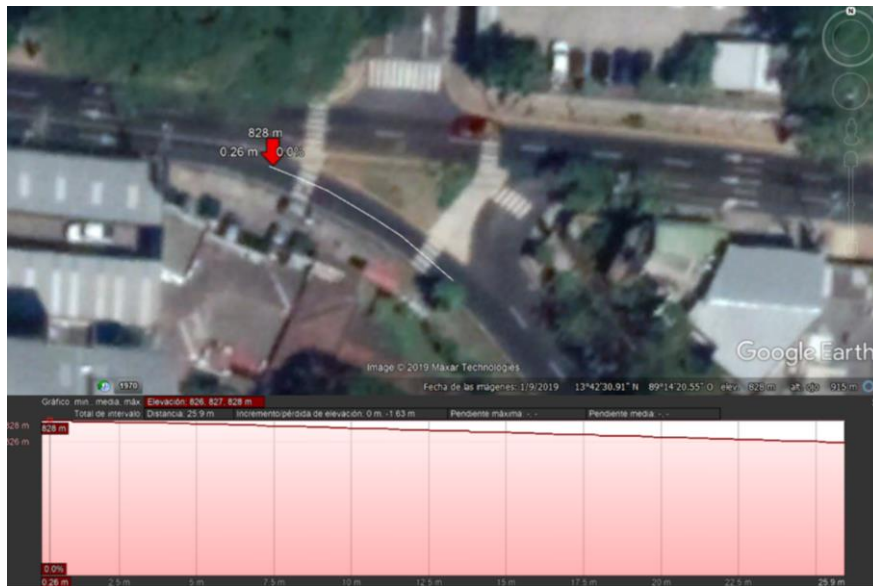


Gráfico 24. 10. Perfil del tramo de la calle Mirador donde se ubica la isleta. Fuente: Google Earth.

Por las pendientes de la zona y la localización de la isleta, el agua de escorrentía circula según flechas azules en la imagen:



Imagen 24. 25. Sentido del agua de escorrentía en la zona de estudio. Fuente: Google Maps

El agua de la calle que queda justo aguas arriba en el sentido Norte-Sur que no penetra en los tragantes de las esquinas va hacia la zona verde de la isleta y de ahí, discurre por la calle 11.

Dimensiones

Puesto que se trata de un espacio verde que se quiere mantener como verde, incrementando la diversidad de especies vegetales para darle un toque ornamental a la isleta, el SUDS que mejor encaja es un sistema de biorretención.

Se tratará de un elemento de control en origen ya que gestionará la precipitación que recibe directamente.

Cálculo de caudales

Se empleará una lluvia de período de retorno de 10 años de la estación meteorológica más cercana, Procafé y una hora de duración. Para la obtención de la misma se han empleado las las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de dicha estación meteorológica:

$$I = \frac{10.72738 \cdot T^{0.21884}}{D^{0.63024} + 1.00332}$$

Ecuación 24. 12. Ecuación de las curvas IDF empleada en este supuesto caso práctico.

- I, Intensidad en mm/min
- T, periodo de retorno en años
- D, duración de la tormenta en minutos

Estimación del volumen de retención

Para la estimación de los volúmenes de diseño se ha incluido la zona vertiente de la calle aguas arriba por el estado de los imbornales, que apenas permite la entrada de escorrentía.

Área aportante	Superficie (m ²)	Coef. Escorrentia	Volumen (m ³)
Isleta (suelo de grama)	95	0,3	1,7
Isleta (suelo de concreto)	25	0,9	2,1
TOTAL Volumen generado (m ³)			3,8

Tabla 24. 18. Volúmenes de generados con una tormenta de diseño de Tr 10 años y 1 hora de simulación. Fuente: Elaboración propia

Dado que la zona no es la idónea para la infiltración, se propone la retención de la escorrentía en el sistema de biorretención y la salida mediante un dren inferior

Diseño de SUDS para el AMSS: Espacio verde público

que conecta con la red de pluviales. Como no hay especificaciones de cuales han de ser los caudales de salida, en este supuesto se parte de que se retendrá todo el volumen generado.

El área de acumulación de agua está limitada a la parte central de la isleta, ya que se mantendrán los trozos de concreto que sirven al peatón de cruce seguro de la calle. Como la isleta en sí no es transitable en la parte central, se rodeará de un bordillo protector (modificado en el lateral norte para la entrada de escorrentía) lo que facilita la instalación de taludes menos suaves y que, por tanto, permite una mayor superficie de filtración, de 45 m².

Los taludes que rodean al área de filtración tienen un ancho de 1 metro, tienen una pendiente 3H:1V, por lo que permiten un resguardo de almacenamiento de unos 30 cm.

El volumen que se puede almacenar en la zona deprimida de encharcamiento es de unos 18,75 metros cúbicos valor superior al que se necesita incluso sin contar con el espacio de huecos en la capa de almacenamiento.

Por ello se plantea permitir la entrada de caudal desde la calzada tomando como límites de esta área aportante los tragantes presentes en la esquina:



Imagen 24. 26. En turquesa el tramo de calle que genera escorrentía susceptible de ir a la isleta y los recuadros azules representan los tragantes del lugar. Fuente: Google Maps

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

El volumen generado es de 7 metros cúbicos, que sumados a los 3,8 de la propia isleta, sigue siendo inferior a la capacidad de almacenamiento en la zona de encharcamiento.

Dado el mayor volumen disponible, y por ahorrar costes en materiales, los espesores de las capas de suelo y almacenamiento no serán gruesos. Se propone de 50 cm de mezcla de suelo que permite el crecimiento de herbáceas y flores y de 30 cm de gravas para que haya cabida suficiente para un dren ranurado de 200 mm de diámetro que evacúe el agua filtrada hacia la red de drenaje.

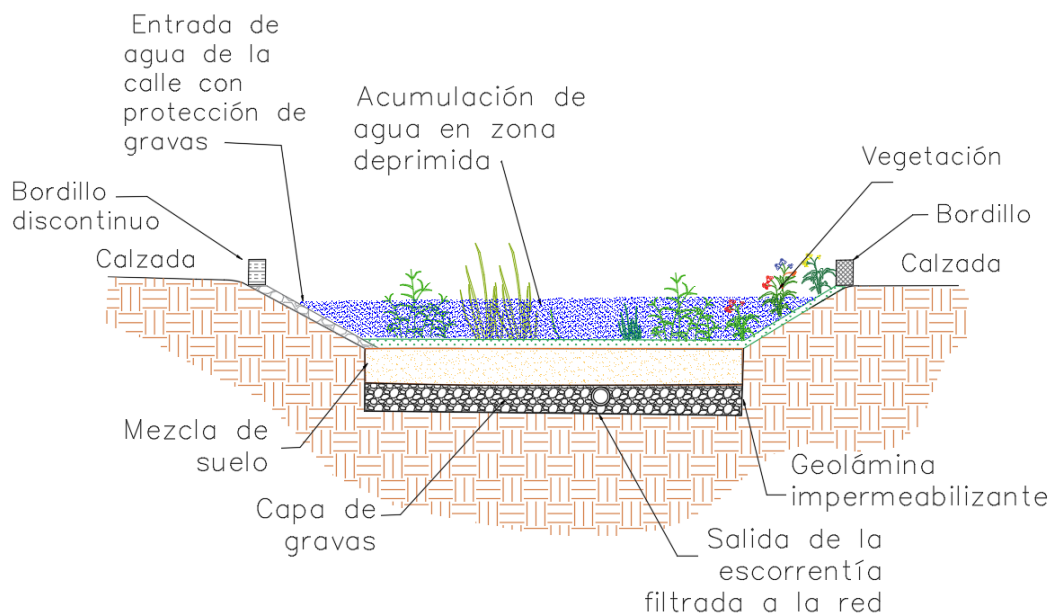


Figura 24. 16. Sección del sistema de biorretención propuesto. Fuente: Elaboración propia

Ya que por una parte entrará agua procedente de la calle, el talud por el que entra esa escorrentía debe protegerse con rocas o gravas que reduzcan la velocidad de entrada de la escorrentía. El resto de los taludes puede ir con grama.

Diseño de SUDS para el AMSS: Espacio verde público

Estimación del tiempo que tarda el agua en atravesar la sección

Al tratarse de una mezcla de suelo, el agua tarda en descender por ella, por ello una vez definidos los volúmenes hay que comprobar que tiene una forma (área y altura) que permiten la rápida percolación a su través.

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

Ecuación 24. 13. Estimación del área mínima que ha de tener el sistema de biorretención.

- A_J = Área superficial del sistema de biorretención, 45 m²
- V_E = Volumen que entra al sistema, 11 m³
- L = Altura total del relleno, 0,8 m
- h = Altura de la lámina de agua encima de la matriz, 0,3 m
- k = Coeficiente de permeabilidad de la matriz porosa predominante, se adopta el valor típico de 10⁻³ m/s
- t = Tiempo de percolación del agua a través de la matriz porosa (segundos)

El valor resultante es de 5 minutos, lo que indica una rápida filtración.

Para este supuesto práctico no se propone la instalación de un rebosadero de emergencia ya que las dimensiones son mayores de las que se necesitan.



Diseño de SUDS para el AMSS: Urbanización Capítulo 25



Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Hoja dejada intencionadamente en blanco

Supuesto práctico 5: SUDS para la retención de los parques de una urbanización.

Introducción

Este supuesto práctico consiste en el dimensionamiento del volumen mínimo de almacenamiento que han de tener los parques de una nueva urbanización. En total, hay 10 parques correspondientes a los 10 lotes que componen dicha urbanización.

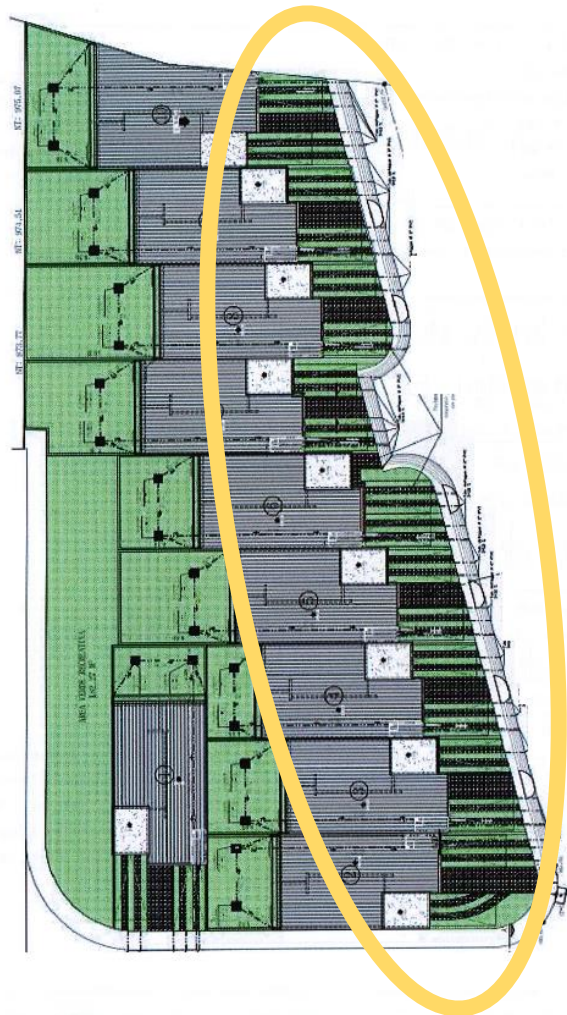


Imagen 25. 27. En el círculo amarillo, la zona de intervención, cada lote tiene un espacio abierto delantero con zona para parqueo y zona de grama.

Objetivo del proyecto:

Cumplir con las restricciones de caudal para espacios delanteros (de parqueo y de grama) de 10 lotes definidas por OPAMSS para la obtención del permiso de Factibilidad de Aguas Lluvias. En dichas restricciones se especifica que el caudal de salida no puede ser superior a 0,5 l/s por cada uno de ellos.

Pasos en el diseño

8. Análisis de la zona de proyecto

Recopilación de información

Se trata de realizar pequeñas intervenciones en una nueva construcción, la extensión de cada una de las zonas a intervenir se encuentra entre los 35-50 m². Aunque el total de la suma de las zonas a intervenir en los lotes es inferior a los 500 m² son parte de una urbanización de mayor tamaño (aparte de las casas, hay patios traseros), por lo que se requiere de un ensayo de permeabilidad del suelo realizado por un laboratorio competente.



Figura 25. 17. En azul, uno de los lotes de estudio, de izquierda a derecha, patio trasero, casa y patio delantero, donde se encuentra la zona de parqueo en color negro y la zona de grama en verde.

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

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

También se necesita el plano de diseño de la urbanización, donde se especifican las pendientes de cada una de las diferentes áreas y de las instalaciones que pudieran verse afectadas (red de drenaje existente, cableado, etc....)

Y, como punto de partida las curvas IDF de la estación pluviométrica más cercana, que en este caso se trata de la del Boquerón.

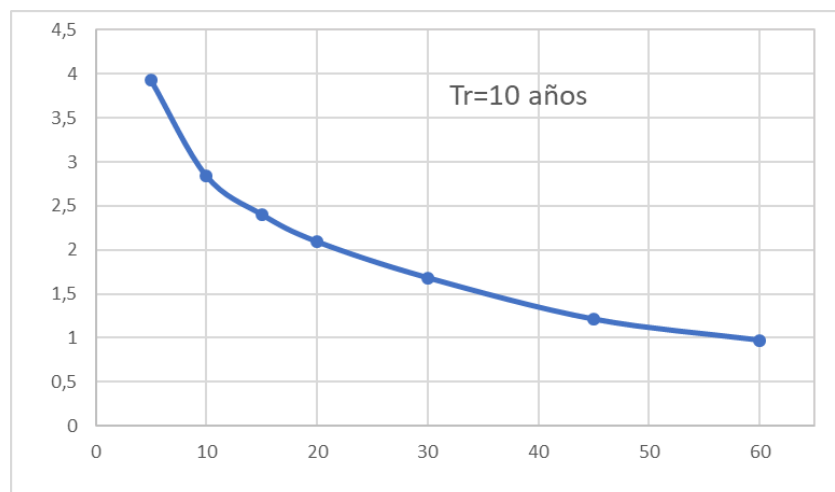


Gráfico 25. 11. Intensidades en milímetros/minuto para una tormenta de un periodo de retorno de 10 años y una hora de duración. Fuente: Elaboración a partir de los datos de

9. Creación del modelo SUDS

En este caso concreto, la autoridad competente propuso la instalación de pavimento permeable para la consecución del objetivo de diseño, por lo que ese será el SUDS a implantar. Como hipótesis de partida, para el dimensionamiento de los pavimentos permeables se considera que:

- No pasa el agua de escorrentía de un lote a otro.
- Se incluye un factor de seguridad en la comprobación de la capacidad de infiltración del sistema, ya que este tipo de sistemas pueden colmatarse.

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

Tabla 25. 19. Factores de seguridad en función de la calidad de agua entrante y las previsiones de mantenimiento. Fuente: Minvu

Al tratarse de un parqueo, seguramente se acumularán restos de aceites, carburantes en la superficie, por lo que el agua infiltrada sería de mala

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

calidad, por ello se recomienda que se haga mantenimiento, con lo que, se considerará un factor de reducción de 0,5, es decir una reducción de la capacidad del suelo de permitir la infiltración de la mitad. Esto es por posibles colmataciones que puedan ocurrir por el lixiviado de las partículas de arrastre de escorrentía.

- No hay traspaso de escorrentía desde la zona verde o con grama del patio delantero al parqueo permeable. Se va a emplear concreto permeable, por lo que se evitará potenciar la entrada de escorrentía que pueda arrastrar partículas de suelo o vegetación. Por ello, el volumen a retener será exclusivamente el que se generaría sobre el concreto, de manera que el volumen máximo saliente (suma de caudales de la zona verde de grama y del concreto permeable) nunca supere el límite de 0,5 l/s.
- La capa de almacenamiento es la subbase, aunque la capa superficial sea de concreto permeable y porosa, se procurará que no permanezca sumergida en agua por periodos prolongados de tiempo puesto que el estancamiento del agua puede provocar la deposición de sólidos disueltos en los poros. Aunque a efectos de cálculo, sí que se ha tenido en cuenta de que la escorrentía se generará en el parqueo cuando el concreto permeable tenga los poros completamente saturados.
- La base de la capa de almacenamiento es horizontal, la pendiente que se plantea para que la superficie del patio delantero drene al condón cuneta es del 0,5% de manera que, para conseguir esa pendiente en superficie, se aumentará el espesor de la superficie en el extremo más alejado del cordón cuneta sobre el valor de estimado para la superficie (nunca reducir porque en suelos inclinados se pierde capacidad de almacenamiento).
- Se ha considerado que el ancho total del concreto permeable es de 3m.

Estimación del volumen de retención

La estimación del espesor de la capa de almacenamiento se ha realizado en base a los caudales que exceden del límite impuesto

En todos los lotes se ha realizado el mismo cálculo, y a modo aclaratorio, los enunciados de las tablas indican:

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

- T (minutos): Minutos transcurridos desde el inicio de la tormenta de diseño que es una hora de duración y un TR de 10 años
- Intensidad (mm/min). Intensidad de la pluviometría en márgenes de tiempo (al principio cada cinco minutos y luego cada 15)
- Q_{max} en pavimento permeable (l/s): Caudal que se genera en la superficie permeable, parte de este caudal será el que se acumulará e infiltrará.
- Q_{max} de área externa con grama (l/s), caudal formado en las franjas con grama de
- Q_{max} (l/s) generado en el patio delantero, suma de Q_{max} en pavimento permeable y Q_{max} de área externa con grama
- Q_{max} previsto en pav. permeable (l/s), caudal máximo que puede salir del parqueo permeable
- Excedente a almacenar (l) Volumen a acumular para que no se generen más de 0,5 l/s en el patio delantero.
- Área total de la superficie permeable (m^2), Área que ocupa en planta la superficie permeable
- Espesor superficie (m), espesor del concreto permeable
- Porosidad superficie %, porosidad de la capa de concreto permeable
- Espesor capa almacenamiento- subbase (m), espesor de la capa de gravas donde se almacenará la escorrentía
- Porosidad almacenamiento- subbase %, porosidad de la capa de gravas donde se almacenará la escorrentía
- Volumen de huecos total disponible (m^3), volumen total disponible (suma del espacio de huecos de la capa de almacenamiento y de la superficie de concreto)
- K = permeabilidad del suelo (m/h)
- Cs Factor de seguridad,
- Tiempo de infiltración (h), tiempo que tarda toda el agua en infiltrarse en el subsuelo

Lote 1

SUPERFICIE (m^2)	
Parqueo permeable	Área verde
17,7	20,8

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 20. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 1.

T (minuros)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,81	0,40872	1,22	0,09	216,08
10	2,84	0,59	0,29536	0,88	0,20	114,55
15	2,4	0,50	0,2496	0,75	0,25	73,56
20	2,09	0,43	0,21736	0,65	0,28	44,68
30	1,68	0,35	0,17	0,52	0,33	6,49
45	1,21	0,25	0,13	0,38	0,25	0,00
60	0,97	0,20	0,10	0,30	0,20	0,00
TOTAL A ALMACENAR (l)						455

Tabla 25. 21. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 1.

Área total de la superficie permeable (m ²)	17,7
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor capa almacenamiento- subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento- subbase %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m ³)	0,93
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	0,46

Tabla 25. 22. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 1.

Lote 2

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde
27,05	25,29
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 23. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 2.

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	1,240	0,497	1,74	0,003	371,2
10	2,84	0,896	0,359	1,26	0,141	226,6
15	2,4	0,757	0,303	1,06	0,197	168,3
20	2,09	0,660	0,264	0,92	0,236	127,2
30	1,68	0,530	0,212	0,74	0,288	72,8
45	1,21	0,382	0,153	0,53	0,347	10,5
60	0,97	0,306	0,123	0,43	0,306	0,0
TOTAL A ALMACENAR (l)						976

Tabla 25. 24. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 2.

Área total de la superficie permeable (m ²)	27,05
Profundidad de encharcamiento (m)	0
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor capa almacenamiento- subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento- subbase %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m ³)	1,4
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	0,98

Tabla 25. 25. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 2.

Lote 3

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde
20,5	17,6
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 26. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 3.

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,94	0,35	1,29	0,15	235,73

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
10	2,84	0,68	0,25	0,93	0,25	128,75
15	2,4	0,57	0,21	0,79	0,29	85,56
20	2,09	0,50	0,18	0,68	0,32	55,13
30	1,68	0,40	0,15	0,55	0,35	14,89
45	1,21	0,29	0,11	0,40	0,29	0,00
60	0,97	0,23	0,09	0,32	0,23	0,00
TOTAL A ALMACENAR (l)						520

Tabla 25. 27. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 3.

Área total de la superficie permeable (m ²)	20,5
Profundidad de encharcamiento (m)	0
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor capa almacenamiento- subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento- subbase %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m ³)	1,08
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	0,52

Tabla 25. 28. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 3.

Lote 4

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde
20,5	17,62
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 29. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 4.

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,94	0,35	1,29	0,15	235,8474
10	2,84	0,68	0,25	0,93	0,25	128,8312
15	2,4	0,57	0,21	0,79	0,29	85,632
20	2,09	0,50	0,18	0,68	0,32	55,1962

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

30	1,68	0,40	0,15	0,55	0,35	14,9424
45	1,21	0,29	0,11	0,40	0,29	0
60	0,97	0,23	0,09	0,32	0,23	0
TOTAL A ALMACENAR (l)						520

Tabla 25. 30. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 4.

Área total de la superficie permeable (m ²)	20,5
Profundidad de encharcamiento (m)	0
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor subbase (m)	0
Porosidad almacenamiento %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m ³)	1,08
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	0,52

Tabla 25. 31. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 4.

Lote 5

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde
20,5	17,62
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 32. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 5.

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,94	0,35	1,29	0,15	235,8474
10	2,84	0,68	0,25	0,93	0,25	128,8312
15	2,4	0,57	0,21	0,79	0,29	85,632
20	2,09	0,50	0,18	0,68	0,32	55,1962
30	1,68	0,40	0,15	0,55	0,35	14,9424
45	1,21	0,29	0,11	0,40	0,29	0
60	0,97	0,23	0,09	0,32	0,23	0
TOTAL A ALMACENAR (l)						520

Tabla 25. 33. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 5.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Área total de la superficie permeable (m ²)	20,5
Profundidad de encharcamiento (m)	0
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor subbase (m)	0
Porosidad almacenamiento %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m ³)	1,08
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	0,52

Tabla 25. 34. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 5.

Lote 6

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde
16,41	22,6
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 35. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 6.

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,75	0,44	1,20	0,056	208,9
10	2,84	0,54	0,32	0,86	0,179	109,4
15	2,4	0,46	0,27	0,73	0,229	69,2
20	2,09	0,40	0,24	0,64	0,264	40,9
30	1,68	0,32	0,19	0,51	0,310	3,4
45	1,21	0,23	0,14	0,37	0,232	0
60	0,97	0,19	0,11	0,30	0,186	0
TOTAL A ALMACENAR (l)						432

Tabla 25. 36. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 6.

Área total de la superficie permeable (m ²)	16,41
Profundidad de encharcamiento (m)	0

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m3)	0,86
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m3)	0,432

Tabla 25. 37. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 6.

Lote 7

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde
18,13	19,91
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 38. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 7.

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,83	0,39	1,22	0,11	216,7
10	2,84	0,60	0,28	0,88	0,22	115,0
15	2,4	0,51	0,24	0,75	0,26	74,0
20	2,09	0,44	0,21	0,65	0,29	45,0
30	1,68	0,36	0,17	0,52	0,33	6,8
45	1,21	0,26	0,12	0,38	0,26	0
60	0,97	0,21	0,10	0,30	0,21	0
TOTAL A ALMACENAR (l)						458

Tabla 25. 39. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 7.

Área total de la superficie permeable (m2)	18,13
Profundidad de encharcamiento (m)	0
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m3)	0,95
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m3)	0,458

Tabla 25. 40. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 7.

Lote 8

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde
20,2	17
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 41. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 8.

Margen de tiempo (minuros)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,93	0,33	1,26	0,17	228,07
10	2,84	0,67	0,24	0,91	0,26	123,21
15	2,4	0,57	0,20	0,77	0,30	80,88
20	2,09	0,49	0,18	0,67	0,32	51,06
30	1,68	0,40	0,14	0,54	0,36	11,62
45	1,21	0,29	0,10	0,39	0,29	0
60	0,97	0,23	0,08	0,31	0,23	0
TOTAL A ALMACENAR (l)						495

Tabla 25. 42. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 8.

Área total de la superficie permeable (m2)	20,2
Profundidad de encharcamiento (m)	0
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m3)	1,06
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m3)	0,495

Tabla 25. 43. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 8.

Lote 9

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

20,5	17,62
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 44. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 9.

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	0,94	0,35	1,29	0,15	235,8474
10	2,84	0,68	0,25	0,93	0,25	128,8312
15	2,4	0,57	0,21	0,79	0,29	85,632
20	2,09	0,50	0,18	0,68	0,32	55,1962
30	1,68	0,40	0,15	0,55	0,35	14,9424
45	1,21	0,29	0,11	0,40	0,29	0
60	0,97	0,23	0,09	0,32	0,23	0
TOTAL A ALMACENAR (l)						520

Tabla 25. 45. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 9.

Área total de la superficie permeable (m ²)	20,5
Profundidad de encharcamiento (m)	0
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor subbase (m)	0
Porosidad almacenamiento %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m ³)	1,07
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	0,52

Tabla 25. 46. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 9.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Lote 10

SUPERFICIE (m ²)	
Parqueo permeable	Área verde
22,41	22,87
COEF. ESCORRENTIA	
0,7	0,3

Tabla 25. 47. Extensión y coeficientes de escorrentía del patio delantero del lote 10.

Margen de tiempo (minutos)	Intensidad (mm/min.)	Qmax en pavimento permeable (l/s)	Qmax de área externa con grama (l/s)	Qmax (l/s) generado en el patio delantero	Qmax previsto en pav. permeable (l/s)	Excedente a almacenar (l)
5	3,93	1,03	0,45	1,48	0,5	293,07
10	2,84	0,74	0,32	1,07	0,5	170,18
15	2,4	0,63	0,27	0,90	0,5	120,58
20	2,09	0,55	0,24	0,79	0,5	85,63
30	1,68	0,44	0,19	0,63	0,5	39,40
45	1,21	0,32	0,14	0,45	0,5	0
60	0,97	0,25	0,11	0,36	0,5	0
TOTAL A ALMACENAR (l)						709

Tabla 25. 48. Balance de masas de la escorrentía del patio delantero del lote 10.

Área total de la superficie permeable (m ²)	22,41
Profundidad de encharcamiento (m)	0
Espesor superficie (m)	0,1
Porosidad superficie %	0,15
Espesor subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m ³)	1,18
K = permeabilidad del suelo (m/h)	SÍ
Cs Factor de seguridad	0,036
Tiempo de infiltración (h)	9,2
Volumen de agua saliente por infiltración (m ³)	0,57

Tabla 25. 49. Dimensiones y resto de parámetros a comprobar del lote 10.

Sección del parqueo permeable

La sección básica de todos los parqueos permeables consiste en tres capas principalmente, el concreto permeable poroso con un espesor de 10 cm, el geotextil que envuelve las gravas y la capa de gravas con 10 cm de espesor también. Con estas dimensiones y considerando que toda la superficie del

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

parqueo será de concreto permeable, en todos los lotes hay capacidad suficiente para retener el excedente de caudal.

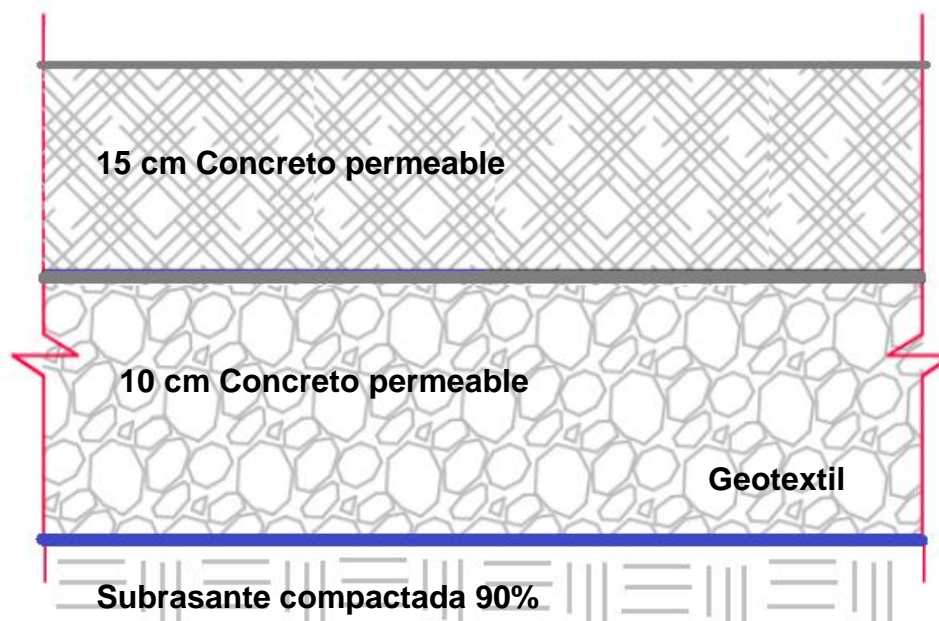


Figura 25. 18. Sección tipo del pavimento permeable propuesto en este supuesto práctico.

10. Proyecto SUDS

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

Lote 1

Q (L/s)	0,325
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,06
V"crítica" (m/s)	0,10
Froude	0,46
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 50. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 1.

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

Lote 2

Q (l/s)	0,3470
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,07
V"crítico" (m/s)	0,11
Froude	0,49
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 51. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 2.

Lote 3

Q (l/s)	0,352
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,07
V"crítico" (m/s)	0,11
Froude	0,50
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 52. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 3.

Lote 4

Q (l/s)	0,35
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,07
V"crítico" (m/s)	0,11
Froude	0,50
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 53. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 4.

Lote 5

Q (l/s)	0,35
---------	------

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,07
V"crítica" (m/s)	0,11
Froude	0,50
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 54. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 5.

Lote 6

Q (m ³ /s)	0,310
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,06
V"crítica" (m/s)	0,10
Froude	0,44
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 55. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 6.

Lote 7

Q (m ³ /s)	0,333
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,06
V"crítica" (m/s)	0,10
Froude	0,47
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 56. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 7.

Lote 8

Q (m ³ /s)	0,357
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005

Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS

"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,07
V"crítico" (m/s)	0,11
Froude	0,51
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 57. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 8.

Lote 9

Q (m ³ /s)	0,35
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,07
V"crítico" (m/s)	0,11
Froude	0,50
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 58. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 9.

Lote 10

Q (m ³ /s)	0,316
b (m)	3
Pendiente (m/m)	0,005
"n" Manning	0,017
y "NORMAL" (m)	0,002
y "CRÍTICA" (m)	0,001
V"normal" (m/s)	0,07
V"crítico" (m/s)	0,12
Froude	0,57
Tipo de flujo	SUBCRÍTICO

Tabla 25. 59. Caudal máximo de salida, velocidades y altura de la lámina de agua generada en el parqueo del lote 9.

Las láminas de agua generadas por el pavimento permeable tienen escasa altura (apenas 2mm) y pueden salir libremente junto con la escorrentía de la parte con grama al condón cuneta, por lo que no se requiere de la instalación de ningún dren, además la capa de almacenamiento tiene poco espesor como para introducir dentro un tubo.

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

Materiales a emplear:

Concreto permeable. Características

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

Tabla 25. 60. Características del concreto permeable a emplear. Fuente: Holcim.

Gravas de subbase/capa de almacenamiento. Características

Capa de piedra redondeada de 20/40 mm

Gravas de subbase/capa de almacenamiento. Características

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

Tabla 25. 61. Características del geotextil a emplear.

Mantenimiento

Las tareas de mantenimiento mínimos recomendados por el fabricante para este concreto son:

Actividad	Frecuencia
Asegúrese de que el área de pavimentación esté limpia de escombros.	Mensual
Asegúrese de que el área esté limpia de sedimentos.	Mensual
Cortar las tierras altas y adyacentes, y sembrar áreas con posible erosión.	Si es necesario
Aspire / barra para mantener la superficie libre de sedimentos.	Si es necesario
Inspeccione la superficie para ver si está deteriorada o descompuesta.	Anualmente

Tabla 25. 62. Actividades de mantenimiento. Fuente: Holcim.

11. Informe final SUDS

El informe final a presentar a la administración también deberá incluir una ficha descriptiva del pavimento de cada lote, como ejemplo se muestra la del Lote 1 a continuación:

Ficha de uperficies Permeables

Condicionantes externos

¿Recibe sólo agua de precipitación directa?	X Sí	No
Área de aportación externa (m ²)	0 (no entra agua de la zona con grama)	
Área total (superficie permeable y aportación externa) (m ²)	17,7	
Pendiente del terreno %	0 (se preparará a tal fin)	
Volumen a gestionar (m ³)	0,455	

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

Entrada al sistema

Precipitación directa

Sistema

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

Tipo de superficie	Gramoquín	Gravas	Concreto	Bloques permeables	Bloques impermeables	Otro
			X			

Relleno de almacenamiento	Gravas/rocas	Celdas plásticas	Otro
	X		

Gravas/rocas		
Volumen total (m ³)	Volumen de huecos (m ³)	Tamaño de grano (mm)
1,77	0,531	20/40

Materiales empleados como filtro			
Arena		Otros	
Gravillín		Geotextil	X

Diseño de SUDS para el AMSS: Nivel urbanización

Área total de la superficie permeable (m ²)	17,7
Espesor superficie (m)	0,15
Porosidad superficie %	0,15
Espesor capa almacenamiento- subbase (m)	0,1
Porosidad almacenamiento- subbase %	0,3
Volumen de huecos total disponible (m ³)	0,93
K = permeabilidad del suelo (m/h)	0,036
Cs Factor de seguridad	0,5
Tiempo de infiltración (h)	0,70

Rebose del sistema

Salida del excedente de caudal por la superficie

Elemento preparado para la salida controlada	Salida en lámina de agua	Longitud perpendicular al agua (m)	Pendiente (m/m)	Altura lámina de agua (mm)	Q salida (m ³ /s)
Si (CORDÓN CUNETETA)					
No	Lámina	5,7	0,0005	2	0,000325

Además, en el informe final también se debe incluir la ficha técnica del geotextil empleado.