



**TECHOS VERDES COMO SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE SISTEMAS DE
DRENAJES URBANOS**

**LIZETH DAYANA RODRIGUEZ BERNAL
ANGELA PAOLA HERNANDEZ OLIVEROS**

Director:

DIEGO IVAN SANCHEZ

Ingeniero civil

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER**

2021





CONTENIDO

INTRODUCCION	6
CAPITULO I. GENERALIDADES	9
1.1 SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL.	9
1.2 SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.	9
1.3 SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE.	17
1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE URBANOS SOSTENIBLES.	21
CAPITULO II	22
2.1 REHABILITACIÓN DE SISTEMAS DE DRENAJES URBANOS.	22
2.2 REHABILITACIÓN MEDIANTE SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLES (SUDS).	23
CAPITULO III	26
TECHOS VERDES.	26
3.1 ANTECEDENTES.	26
3.2 COMPOSICIÓN DE LOS TECHOS VERDES	28
3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS TECHOS VERDES.	30
3.4 BENEFICIOS DE LOS TECHOS VERDES.	33
CAPITULO IV	40
TECHOS VERDES COMO SOLUCION A PROBLEMAS DE DRENAJES URBANOS.	40
4.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS TECHOS VERDES	55
4.1.1- REQUISITOS PREVIOS DE SEGURIDAD DEL PERSONAL.	60
4.1.2- REQUISITOS PREVIOS A LA INSTALACIÓN.	60
4.1.3- INSTALACIÓN	61
4.1.4- COBERTURA VEGETAL	63



4.1.5- SEGUIMIENTO DE UN TECHO VERDE RECIÉN IMPLEMENTADO.	64
4.1.6- MANTENIMIENTO DE UN TECHO VERDE.	64
4.1.7. DESMONTE DE UN TECHO VERDE.	66
CONCLUSIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	69

DQS is member of:





LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Posibles formas de las cubetas para el alcantarillado pluvial_____	11
Figura 2. Posibles formas de sumideros para el alcantarillado pluvial _____	11
Figura 3. Posible forma de los pozos de inspección para el alcantarillado pluvial _____	12
Figura 4. Esquema de un alcantarillado perpendicular _____	14
Figura 5. Esquema de un alcantarillado radial_____	15
Figura 6. Esquema de un alcantarillado de interceptores _____	16
Figura 7. Esquema de un alcantarillado de abanico _____	17
Figura 8. Ciclo del agua _____	18
Figura 9. Impermeabilización en SUDS _____	19
Figura 10. Clasificación de SUDS _____	23
Figura 11. Composición del pavimento permeable. _____	24
Figura 12. Cubiertas vegetales _____	27
Figura 13. Posibles capas de una cubierta verde _____	29
Figura 14. Requerimiento diario de energía promedio debido al flujo de calor a través de la superficie techada. _____	35
Figura 15. Requerimiento energético acumulado debido al flujo de calor a través de la superficie techada _____	36
Figura 16. Fluctuación diaria media de la temperatura de la membrana por estación ____	38
Figura 17. Beneficios de los techos verdes en los diferentes sectores. _____	39
Figura 18. Esquema para la plantación de árboles urbanos. _____	41
Figura 19. Monitoreo del desempeño del techo verde de la Universidad de Sheffield banco de pruebas. _____	43
Figura 20. Eventos observados en el techo verde de la Universidad de Génova (Italia) y porcentaje de volumen retenido y reducción del flujo máximo. _____	45
Figura 21. Esquema del sistema Techo verde - Tanque de almacenamiento _____	47
Figura 22. Gráfica de caudal total que entra al Caño Bazurto Vs tiempo, antes de aplicar el sistema. _____	48
Figura 23. Gráfica de caudal total que entra al Caño Bazurto Vs tiempo, después de aplicar el sistema _____	49
Figura 24. Porcentajes de reducción del caudal pico en los distintos escenarios _____	52
Figura 25. Precipitación retenida en el techo verde en WCC, Goldsboro, NC. _____	53
Figura 26. Desagüe acumulado para un evento de lluvia registrado entre el 5 y 6 de octubre d 2001. _____	54
Figura 27. Cubierta verde intensiva y extensiva. _____	55



Figura 28. Ejemplo de las capas de un techo verde.	59
Figura 29. Instalación de techos verdes	61
Figura 30. Mantenimiento post-instalacion de techos verdes	65



Introducción.

El ser humano a través de miles y cientos de años ha logrado generar un desarrollo histórico en los asentamientos urbanos que conocemos como ciudades, donde los sistemas de manejo de servicios públicos como lo es el alcantarillado, en múltiples ocasiones ha representado enormes desafíos tanto para los habitantes como para las entidades competentes, debido a la complejidad de algunos lugares con sobrepoblación u otros factores determinantes, en este caso es fundamental tener en cuenta aspectos ambientales que también han hecho un poco más difícil el trabajo, como lo es el preocupante cambio climático, teniendo como cualidad el aumento indescriptible de lluvias, hecho que pone en riesgo el correcto desempeño de las redes de drenaje urbano.

En incontables oportunidades se han visto problemáticas urbanas debido a la saturación de las redes de drenaje ocasionadas por lluvias con intensidades y duraciones bastante altas, "De acuerdo con el reporte de la Sala de Crisis nacional de la Ungrd, desde el primero de marzo, se han registrado un total de 318 eventos en 193 municipios y 20 departamentos, con una afectación de 3.451 familias, 45 personas fallecidas, 23 heridos, 3 desaparecidos, 2.382 viviendas averiadas y 30 viviendas destruidas", señaló la Unidad. Con base a lo anterior esto es preocupante ya que en la mayoría de los casos son ciudades que no cuentan con un sistema de drenaje urbano que cumpla con los índices más altos de lluvia que se generan en ciertas épocas del año, cabe resaltar que el cambio climático tiende a alterar estas épocas frecuentes que permitían hacer estimaciones probabilísticas o



predicciones, cuyos cambios generan incertidumbre y por ende poca preparación acertada, teniendo en cuenta que en Colombia la inversión y los sistemas de alcantarillado implementados es un tanto insuficiente y desactualizado en comparación de otros países.

Una de las principales causas de estas problemáticas son la impermeabilización del suelo urbano debido a las construcciones y la pavimentación, hecho que evita la infiltración del agua lluvia y a su vez aumenta la escorrentía superficial llegando a saturar los niveles máximos de capacidad de caudal pluvial en las tuberías, sumado a esto la previa planificación territorial urbana permite obtener un diseño sobredimensionado para hacer frente a estos casos.

Así mismo se sabe que gran parte de estos problemas se pueden solucionar adoptando como medida la implementación de sistemas ambientales sostenibles como los SUDS, techos verdes entre otros, que permiten gestionar los enormes caudales pluviales que la mayoría de drenajes urbanos convencionales tienden a no ser lo suficientemente capaces de evacuar, estos nuevos métodos además de controlar los volúmenes de escorrentía ayudan a mejorar procesos de infiltración, ya que para esto se seleccionan especies con respecto a las propiedades de si mismas para absorción de agua y otras propiedades, que a su vez mantienen un aspecto visual agradable generando un impacto positivo tanto socio-económico como ambiental.

En Colombia existen actualmente varias empresas dedicadas a la instalación de techos verdes y todo el proceso que esto conlleva, algunas de ellas son Sempergreen,



Tropical Commons, Ecotelhado, Cubiertas verdes entre otras empresas que ofrecen un servicio de alta calidad brindando soluciones a estas problemáticas que tienen un historial bastante amplio.

Basado en lo anterior los sistemas de gestión del servicio de alcantarillado en este caso a nivel pluvial, requieren indudablemente la implementación de nuevos sistemas sostenibles ambientales ya que esto trae múltiples beneficios, que se han evidenciado en gran parte de los países del mundo, siendo una de las mejores soluciones que se consideran tendrán cada vez mayor influencia en el futuro.





CAPITULO I. Generalidades.

1.1 Sistema De Drenaje Pluvial.

Un sistema de drenaje son aquellos elementos que permiten la evacuación del agua de un terreno debido a las precipitaciones generadas. Los sistemas de drenaje por lo general están compuestos por una serie de tuberías, colectores y diferentes instalaciones que se encargan de recolectar agua, estos sistemas de drenaje funcionan bajo la acción de gravedad. (Valdivielso, A. s.f).

Los sistemas convencionales de drenaje para las aguas lluvias funcionan de tal manera que toda el agua captada llega al sistema de tuberías empleado y allí se conduce hacia una cuenca hidrográfica más cercana.

1.2 Sistema De Alcantarillado Pluvial.

El alcantarillado pluvial es un servicio público esencial para garantizar la salubridad de una población en general, en este caso hacemos alusión al alcantarillado que permite el adecuado manejo de las aguas lluvias, este se denomina alcantarillado pluvial y según López, R. (1995) se define como “el alcantarillado de aguas lluvias está conformado por el conjunto de colectores y canales necesarios para evaluar la escorrentía superficial producida por la lluvia. Inicialmente el agua captada a través de los sumideros en las calles y las conexiones domiciliarias, y llevada a una red de tuberías que van ampliando su



sección a medida que aumenta el área de drenaje. Posteriormente estos colectores se hacen demasiado grandes y entregan su caudal a una serie de canales de aguas lluvias, los que harán la entrega final al río.”

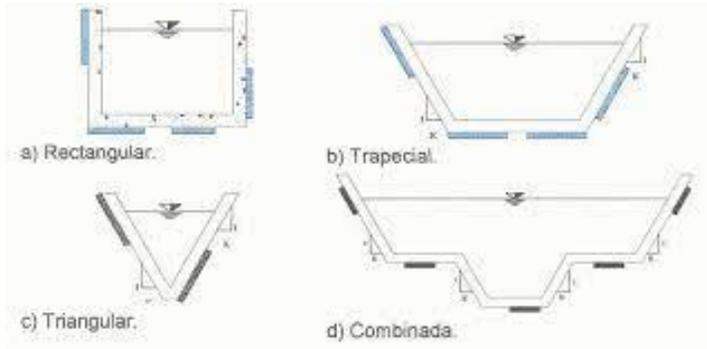
Igualmente, otra definición que se puede tener en cuenta es la citada por Cevallos, L. (2018) donde afirma que el alcantarillado pluvial “está formado por una red de conductos e instalaciones pluviales complementarias que permiten la operación, mantenimiento y reparación del mismo. Su objetivo es la evacuación de las aguas pluviales, que escurren sobre las calles y avenidas, evitando con ello su acumulación y propiciando el drenaje de la zona a la que sirven. De este modo se impide la generación de daños materiales y la propagación de enfermedades relacionadas con las aguas contaminadas”

Así mismo este complejo diseño de una red de alcantarillado pluvial se estructura según ciertos componentes tal y como lo define Cevallos, L. (2018) a continuación

Cunetas: Las cunetas recogen y concentran las aguas pluviales de las vías de los terrenos colindares.

Este es un elemento de gran importancia en el sistema de alcantarillado pluvial ya que ayuda a evacuar gran cantidad de caudal pluvial evitando en gran medida la inundación de las calles o zonas expuestas a dichos riesgos, no obstante, la inclusión de estas mismas es indispensable en el diseño. En la siguiente figura se pueden observar posibles formas de ellas mismas.

Figura 1. Posibles formas de las cubetas para el alcantarillado pluvial

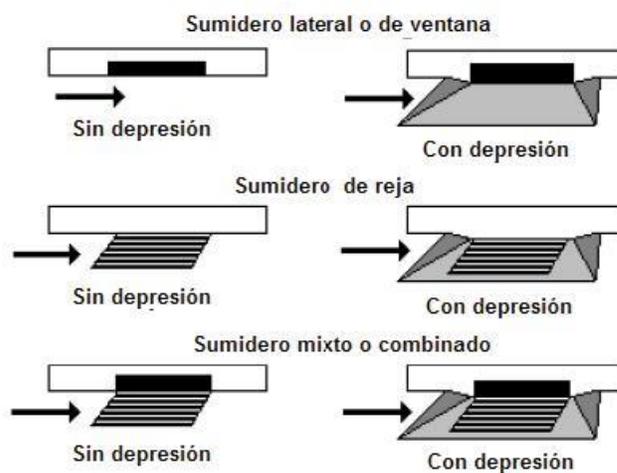


Fuente: Adaptado de “Siapa”

https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_pluvial.pdf

Bocas de Tormenta (Sumideros): Consisten en unas entradas de desagües de aguas lluvia a los colectores su función es retener la mayor parte de las partículas sólidas transportadas.

Figura 2. Posibles formas de sumideros para el alcantarillado pluvial



Fuente: Adaptado de “Siapa”

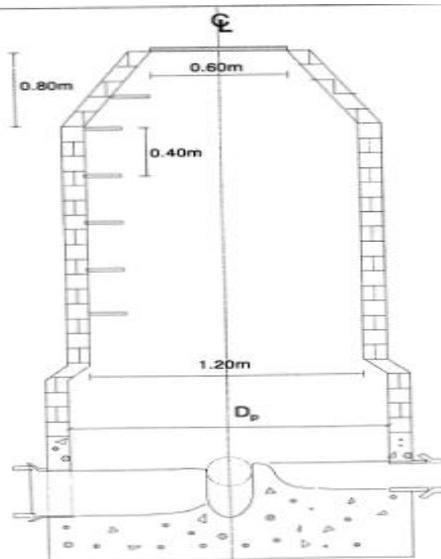
https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_pluvial.pdf

Colector Secundario: Una vez permitido el paso de aguas lluvias desde el sumidero éstas pasan a los colectores secundarios, éstos colectores consisten en una serie de tuberías que recogen el caudal de aguas lluvias y tienen como función conducir a los colectores o tuberías principales.

Colector Principal: El colector principal puede estar conformado por tuberías de diámetro grande, conductos o canales abiertos, su función es la de transportar el agua proveniente del colector secundario hasta la cuenca hidrológica final.

Pozos de Inspección: Es un elemento que permite el acceso a las instalaciones del sistema de drenaje, permite facilitar las tareas de inspección y mantenimiento.

Figura 3. Posible forma de los pozos de inspección para el alcantarillado pluvial



Fuente: Adaptado de “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado” Por R. López, 1995, Escuela Colombiana de Ingeniería.



Pozos de Tormentas: Son estructuras que se encargan de almacenar el exceso de caudal producido por una tormenta.

Vertido Final: Son las estructuras que tienen como función evitar la erosión en los puntos en que las aguas de lluvia recogidas se vierten en cause naturales de ríos, arroyos o mares.

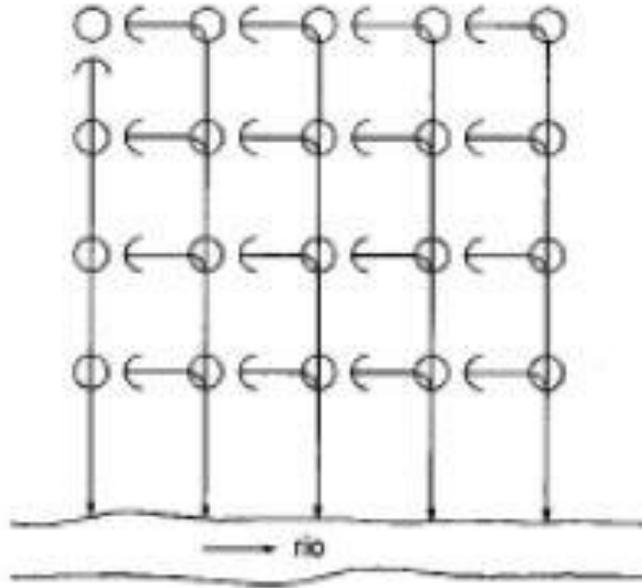
Cabe mencionar que dependiendo de factores como, la población, topografía de la zona y otros, el diseño del alcantarillado pluvial puede variar en modelos tal y como se define a continuación:

Modelo perpendicular: “Es un sistema adecuado para un alcantarillado pluvial, ya que sus aguas se pueden descargar a una cuenca cercana a la población, en donde, este sistema según la Comisión Nacional del agua (2007): “se utiliza en comunidades que se ubican a lo largo de una corriente, con el terreno inclinado hacia ella, por lo que las tuberías se colocan 13 perpendicularmente a la corriente y descargan a colectores o a la cuenca” (p.198). Sin que haya riesgos para la salud humana ni deterioro en la calidad del cuerpo de agua”. Citado por Salamanca, C., Rodríguez, J. & Ruiz, C. (2018)

Basado en lo anterior es de vital importancia tener en cuenta las consideraciones mencionadas para el diseño, con el fin de cumplir todas las características que se deben poseer para aplicar dicho modelo, y garantizar a la comunidad la prestación de un servicio de alta calidad y eficiencia.



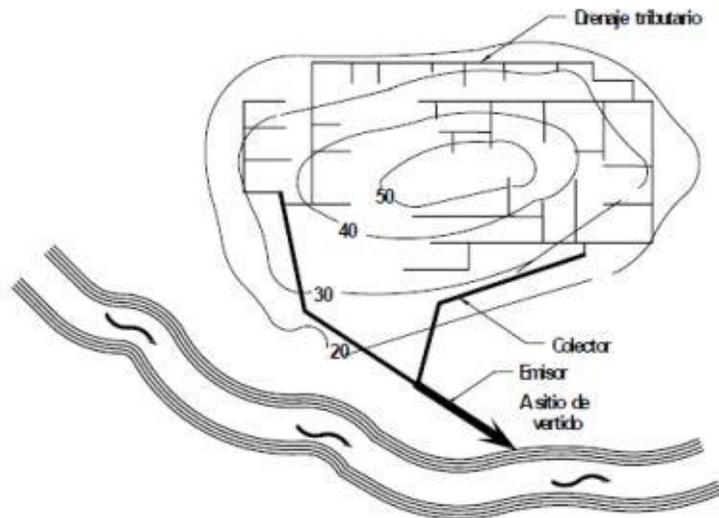
Figura 4. Esquema de un alcantarillado perpendicular



Fuente: Adaptado de “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado” Por R. López, 1995, Escuela Colombiana de Ingeniería.

Modelo radial: “Es un sistema de alcantarillado empleado en zonas montañosas, en donde la tubería no es ubicada de forma paralela si no de manera circular rodeando el punto más alto por donde, escurren las aguas. La Comisión Nacional del agua (2007) define que: “en este modelo la pendiente del terreno baja del centro del área drenando hacia los extremos, por lo que la red de atarjeas descarga a colectores perimetrales que llevan el agua al sitio de vertido” (p.198). Con ayuda de colectores y del sistema emisor se transportan las aguas hasta llegar al cuerpo de agua”. Citado por Salamanca, C., Rodríguez, J. & Ruiz, C. (2018)

Figura 5. Esquema de un alcantarillado radial

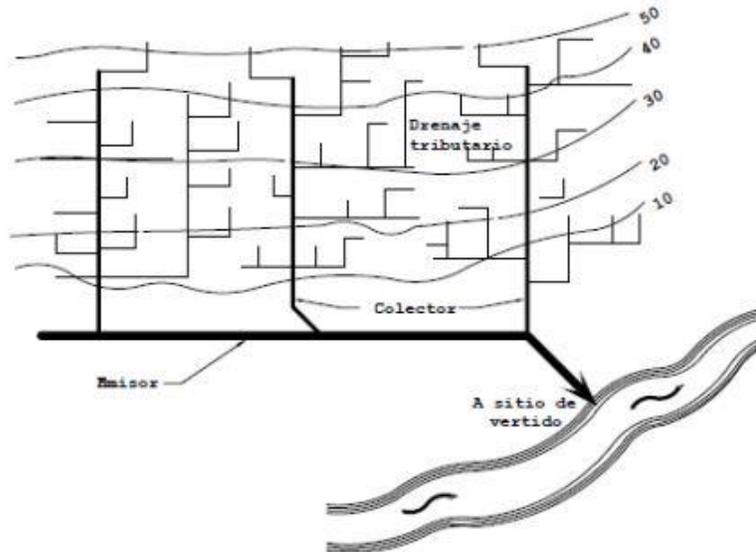


Fuente: Adaptado de “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado” Por R. López, 1995, Escuela Colombiana de Ingeniería.

Modelo de interceptores: “Se emplea para recolectar aguas pluviales en zonas con curvas de nivel más o menos paralelas; el agua se capta con colectores cuyo trazo es transversal a las curvas de nivel, que descargan a un interceptor o emisor que lleva el agua al sitio de vertido. (Comisión Nacional del agua, 2007). Es un sistema donde el cuerpo de agua o cuenca no se encuentra de manera perpendicular a las tuberías, dado esta condición se implementan los colectores y el emisor para transportar las aguas al punto de descarga”.

Citado por Salamanca, C., Rodríguez, J. & Ruiz, C. (2018)

Figura 6. Esquema de un alcantarillado de interceptores

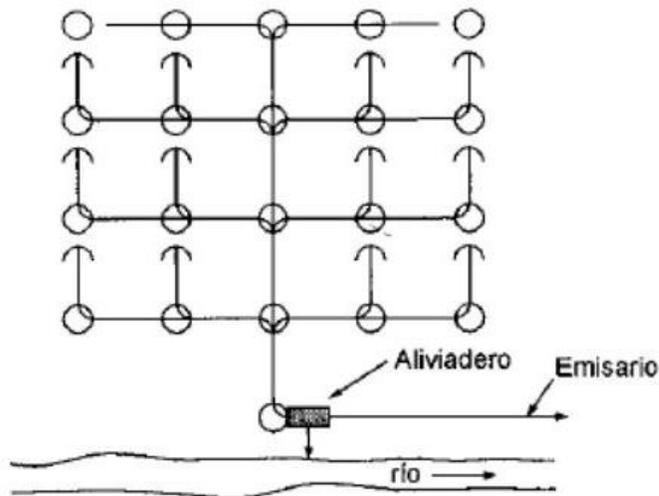


Fuente: Adaptado de “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado” Por R. López, 1995, Escuela Colombiana de Ingeniería.

Modelo de abanico: “Cuando la localidad se encuentra ubicada en un valle, se traza la red de atarjeas reconociendo hacia el centro del valle y mediante un colector se traslada el agua pluvial a la zona de vertido, dadas unas condiciones topográficas especiales, puede adoptarse un esquema de abanico con interceptor, sin interceptor o con aliviadero, de acuerdo con el tipo de alcantarillado. (Comisión Nacional del agua, 2007, p.199)” Citado por Salamanca, C., Rodríguez, J. & Ruiz, C. (2018). En la siguiente figura podemos observar un ejemplo de dicho modelo



Figura 7. Esquema de un alcantarillado de abanico



Fuente: Adaptado de “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado” Por R. López, 1995, Escuela Colombiana de Ingeniería.

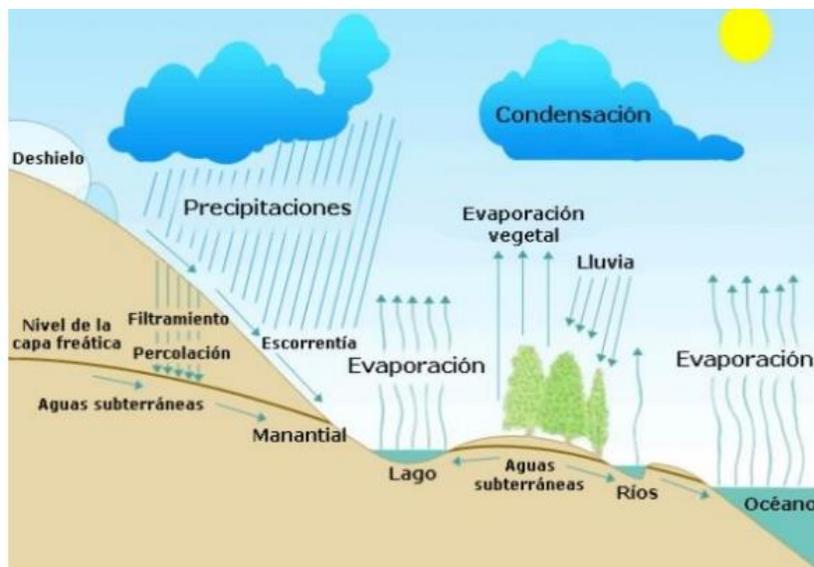
1.3 Sistema de drenaje urbano sostenible.

Los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS) tienen como objetivo contribuir al logro del desarrollo sostenible. En lugar de los arreglos tradicionales de tuberías y alcantarillado, el objetivo de los sistemas de drenaje urbano sostenible es cumplir o replicar el ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual el agua pasa por diversas etapas a través de la hidrosfera, dentro de éstas etapas el agua cambia de estado cíclicamente y la cantidad de agua en el planeta no cambia.

En el ciclo hidrológico se conocen los procesos de evaporación, transpiración, condensación, precipitación, infiltración, escorrentía, circulación subterránea. Al momento que se genera un crecimiento urbanístico implica pavimentación de superficies, creando así una capa impermeabilizante en el terreno natural; al crearse ésta impermeabilidad se interfiere directamente en el proceso del ciclo hidrológico encargado de la infiltración subterránea del agua, de modo que, el proceso de escorrentía el caudal es mayor y la circulación subterránea del agua es menor.

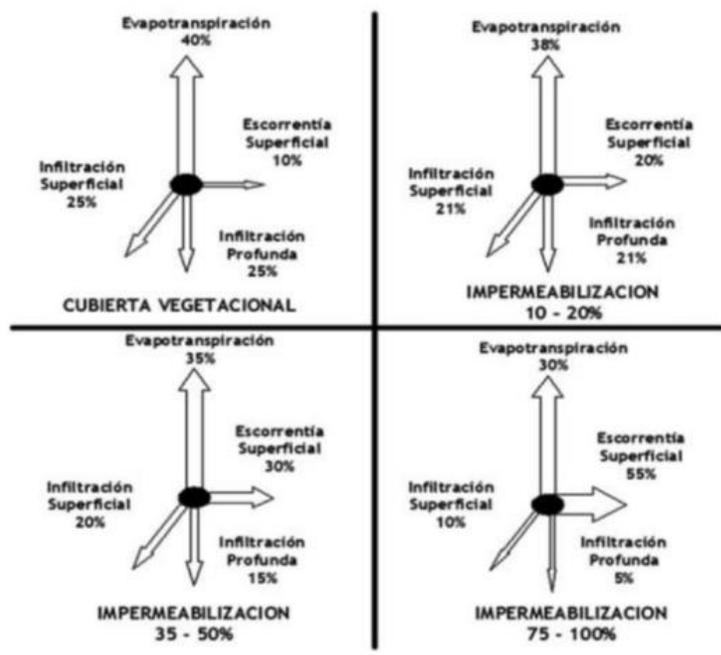
Figura 8. Ciclo del agua



Fuente: Adaptado de “Esquema del ciclo hidrológico. Sus procesos se ven afectados por la urbanización de la cuenca” (Villalonga, M. 2016).

Al presentarse un crecimiento urbanístico se produce una impermeabilización de la superficie natural y esto afecta directamente a la infiltración del agua por lo que se convierte en escorrentía produciendo así alto volúmenes de caudal que pueden llegar a presentar inundaciones.

Figura 9. Impermeabilización en SUDS



Fuente: Adaptado de “Evaluación Ambiental de las Cuencas Urbanas del Piedemonte Andino de Santiago de Chile” (p. 104), por H. Romero, A. Vásquez, Eure 31(94).

El principal objetivo de los SUDS es mitigar los resultados que genera el desarrollo urbanístico con respecto a él volumen de agua convertido en escorrentía.



1.4 Clasificación de los sistemas de drenaje urbanos sostenibles.

Estructurales Controlan la escorrentía mediante algún elemento constructivo o adopción de criterios urbanísticos. (Abellán, A. 2016)

Infiltración. El método de infiltración tiene como función fomentar el paso de agua a través del suelo, asimismo reducir el volumen de escorrentía y recargar los acuíferos. Ésta clasificación de SUDS es la solución que se busca debido que dentro del comportamiento del ciclo hidrológico natural se asemeja lo más fielmente posible a ella.

Medidas de detención. Las medidas de retención captan por un periodo de tiempo el caudal de escorrentía aumentando el tiempo de concentración. Muchas de las técnicas empleadas en las medidas de detención funcionan de tal manera que permite bajar los picos de caudal. Dentro de las medidas de detención encontramos como ejemplos los Humedales artificiales.

Medidas de retención. Las medidas de retención almacenan el caudal de agua lluvia de forma permanente para abastecer las viviendas. Sin embargo, el agua almacenada debe tener un tratamiento adecuado para garantizar la calidad y consumo a viviendas.

No estructurales Los métodos no estructurales se refriere a las prácticas educativas y de conciencia ciudadana para evitar el ingreso de contaminantes en la escorrentía.



2.2 Rehabilitación mediante sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS).

Para los sistemas de drenajes urbanos sostenibles, la escorrentía superficial es algo que se puede controlar conociendo el ciclo hidrológico. Como ya vimos anteriormente los SUDS se clasifican de acuerdo infiltración, detención, y medidas de retención; en la siguiente figura se puede observar una clasificación de SUDS y algunos ejemplos de aplicación que se pueden usar para la rehabilitación mediante estos SUDS.

Figura 10. Clasificación de SUDS

CLASIFICACION	TIPOLOGIA
Minimización de escorrentía	Pavimento permeable, zonas verdes entre calzadas o cunetas verdes
Captación de agua lluvia	Pondaje húmedo vegetado, estanques, techos verdes, almacenamiento subsuperficial
Paisajismo	Bioretencion; jardines de lluvia, materas
Infiltración	Drenes filtrantes, zonas de bioretencion, sumidero tipo alcorque inundable
Conducción	Franjas, zanja

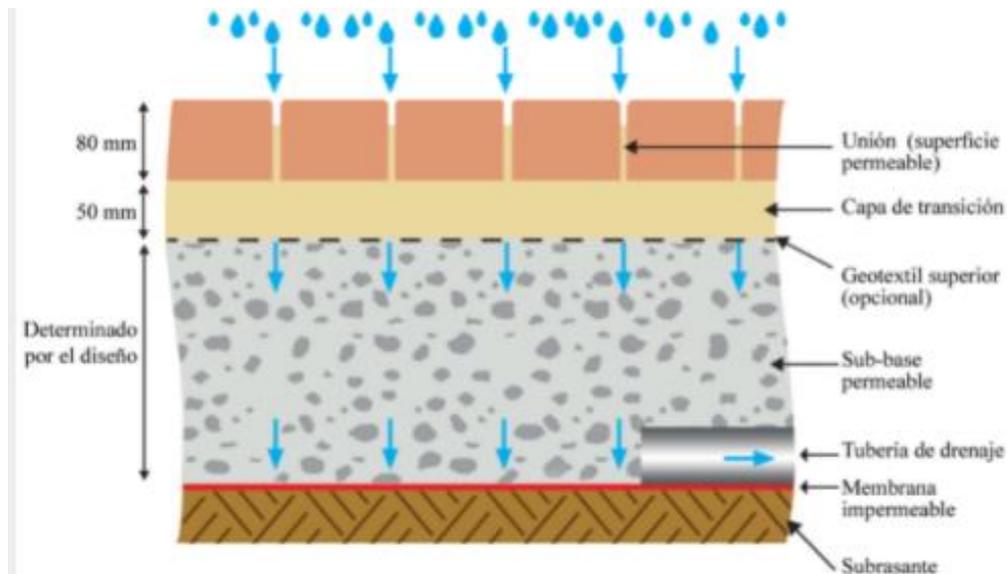
Fuente: Adaptado de “Descripción de los sistemas urbanos de drenaje sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones”

Duran, J. (2016)

Pavimento permeable El pavimento permeable es una estructura compuesta por una capa o superficie permeable, para permitir zonas donde el agua pueda atravesar la superficie y se infiltre de manera que se amortigüe el agua precipitada, aumentando los tiempos de concentración.

La siguiente figura se observa la composición de un pavimento permeable con un porcentaje de infiltración del 100%

Figura 11. Composición del pavimento permeable.



Fuente: “Estructura del pavimento permeable de infiltración”. (Castro, M. 2011)

Como se muestra en la figura anterior, los pisos o pavimentos permeables tienden a adoptar varias capas con el fin de aumentar su eficiencia.

Cunetas verdes

Son canales cubiertos por una capa vegetal, diseñados de manera que la escorrentía circule a través de toda la superficie de manera lentamente, permitiendo así la infiltración y



promoviendo la filtración de contaminantes y de sedimentación de partículas: al generarse todo este fenómeno se aumenta considerablemente la calidad del agua captada.

Pondaje húmedo vegetado.

Son medidas de detención a través de un cuerpo de agua artificial, su función es la de detener el volumen de agua producido por la precipitación y luego descargar el exceso de agua mediante la implementación de sistemas de tuberías de drenaje para de ésta manera producir infiltración del agua al suelo.

Franjas filtrantes.

Las franjas filtrantes son elementos que funcionan como complemento al sistema de drenaje a través de presencia de vegetación en el suelo, favoreciendo la sedimentación de partículas e infiltración del agua.

Drenes filtrantes

Son excavaciones con poca profundidad rellenas de material filtrante y recubiertas con geotextil; tiene como función captar y filtrar la escorrentía de superficies que no tengan algún grado de permeabilidad, transportando el caudal hacia las aguas.

para protegerlo de la radiación ultravioleta y del calor (Woods-Ballard, B., Kellagher, R. y otros. 2007).

Figura 12. Cubiertas vegetales



Fuente: Urbanismo y transporte (11 de diciembre de 2018). Antecedentes e historia de las cubiertas vegetales. <http://urbanismoytransporte.com/antecedentes-historia-de-las-cubiertas-vegetales/>.

En el año 1930 en Estados Unidos se construye en el Rockefeller Center una cubierta vegetal que perdura hasta el día de hoy, sin embargo, para aquella época no había un conocimiento consolidado de los techos verdes de manera que los techos verdes sufren un estancamiento por 30 años.

La primera persona en investigar a fondo los techos verdes es Reinhard Bornkamm considerado como el padre de los techos verdes, fue un botánico de la Universidad de Berlin



y durante su trayectoria profesional se dedicó a estudiar la ecología de las cubiertas. A raíz de sus obras la construcción de los techos verdes se empieza a propagar en Alemania.

En el año 1989 se instalaron en toda Alemania 1 millón de metros cuadrados de cubiertas vegetales, cifra que se llegó hasta los 10 millones de metros cuadrados en 1996. Este hecho se empezó a implementar y crecer en Alemania y también en otros estados de la Unión Europea y en el resto del mundo como Estados Unidos y Canadá, en Colombia en la actualidad se han venido implementando políticas para la implementación de techos verdes.

Los techos verdes son un tipo de SUDS compuesto por diferentes capas que revisten las cubiertas de las edificaciones, el objetivo de este tipo de SUDS es el de interceptar y retener la precipitación, disminuyendo los volúmenes de escorrentía.

3.2 Composición de los techos verdes

Los techos verdes están compuestos por diversos tipos de capas.

1. Vegetación. Está conformada por plantas adaptadas al ambiente del lugar.
2. Sustrato. Conformada por una mezcla de suelo orgánico y minerales que tienen como función concentrar todos los nutrientes, agua y soporte para la vegetación.
3. Capa filtrante o capa intermedia. Tiene como función evitar la saturación del sustrato.

4. Drenaje. Su función es la de retener el agua suficiente para abastecer la vegetación.
5. Emulsión, Su función es servir como capa impermeabilizante evitando algún tipo de filtración en la capa de drenaje.
6. Capa de aislamiento térmico transporta la carga y elimina los puentes térmicos.
7. Barrera de vapor con el objetivo de evitar el paso de vapor de agua hacia el techo.

Figura 13. Posibles capas de una cubierta verde



Fuente (Calvo, D., Gómez, A., Rodríguez, P. 2016)



3.3 Clasificación de los techos verdes.

Según el espesor de sustrato:

Techos verdes extensivos: Los techos verdes extensivos tienen un espesor de sustrato no mayor a 10cm. Son de bajo peso y presentan poca diversidad de plantas. El sustrato está compuesto por un material granular ligero y la cobertura vegetal de los techos verdes extensivos debe estar compuesta por especies con baja raíz superficial que presenten buena adaptación a los cambios climáticos. Dentro de sus ventajas está que requiere muy bajo mantenimiento.

Techos verdes intensivos: Los techos verdes intensivos son caracterizados por tener un sustrato mínimo de 20 cm, están diseñados para la siembra intensiva de vegetación, dentro de sus ventajas está que ofrece una buena capacidad de retención de escorrentía al presentarse un sustrato mayor al de los techos verdes extensivos, asimismo presentan alta eficiencia energética y propiedades de aislamiento, sin embargo éstos tipos de techos requiere de costos de mantenimientos elevados y genera cargas grandes en la estructura.

Techos verdes semi intensivos: Presentan características de los techos verdes extensivos e intensivos, para ello debe tener un espesor de sustrato que ronde entre los 10 cm y los 20 cm de profundidad, por lo cual permite mayor variedad de vegetación que en los techos verdes extensivos. En cuestión de mantenimiento de éste tipo de techo verde depende directamente del tipo de vegetación que sea utilizada para la estructura.



Según su propósito:

Techos verdes biodiversos o ecológicos especializados: Tiene como objetivo contribuir a un nuevo hábitat para la flora y fauna local, está diseñado con el objetivo de replicar un paisaje conectado con la estructura ecológica de la región local. Dentro de esta categoría se encuentran los llamados techos marrones, que son una versión sin vegetación, en la cual el sustrato se selecciona especialmente para permitir el crecimiento de especies vegetales autóctonas (Secretaría Distrital de Ambiente, Castañeda Vega, y otros., 2011; Groundwork Sheffield and Environment Agency, 2011).

Techos transitables o ajardinados: Son aquellos diseñados para ser transitados, generalmente para uso recreativo o de contemplación. Estos espacios generalmente se encuentran dotados con mobiliario y pisos transitables, y la vegetación que se selecciona para ellos es de tipo ornamental (Secretaría Distrital de Ambiente, Castañeda Vega, y otros., 2011).

Techos verdes Huerta: El propósito de estos techos es la producción agrícola. En este tipo de cubiertas deben designarse áreas para la plantación y espacios de circulación, se debe garantizar un sistema de riego preferiblemente reciclando el agua lluvia captada por el mismo techo. Se puede realizar la siembra en bandejas y otros elementos para facilitar la manipulación y proteger mecánicamente la capa de impermeabilización (Secretaría Distrital de Ambiente, Castañeda Vega, y otros., 2011).



Techos verdes autorregulados: Tienen como propósito lograr las condiciones óptimas para mantener la cobertura vegetal, con el mínimo de materiales, inversión económica y peso posibles. Lo ideal es que este tipo de techos logren mantener su vitalidad sin requerimientos de riego adicional y mantenimiento frecuente, ya que no están diseñados para ser transitados (Secretaría Distrital de Ambiente, Castañeda Vega, y otros, 2011).

Según la tecnología de construcción empleada

De acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente (2011) en la guía de techos verdes para Bogotá, los techos verdes según la tecnología de vegetalización se pueden clasificar en

Tipo multicapa monolítico: Esta es la tecnología más común, que consiste en apoyar sobre la cubierta impermeabilizada las diferentes capas de componentes de forma continua.

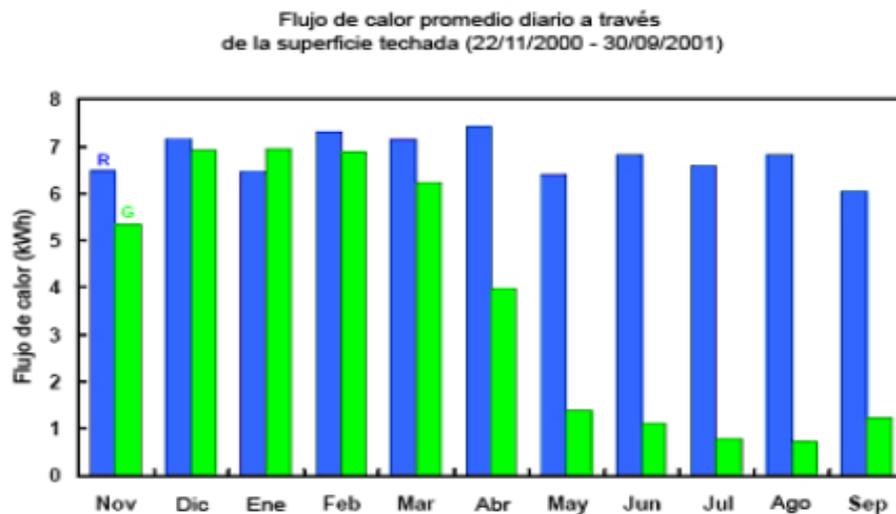
Tipo multicapa elevados: En este caso las diferentes capas que conforman el techo verde se apoyan sobre pedestales, separándolas de la cubierta de la edificación. Tipo receptáculo: Se apoyan sobre la cubierta impermeabilizada una serie de recipientes independientes que alojan el medio de crecimiento y la vegetación.

Tipo monocapa: Son tapetes presembrados que se incorporan en una sola capa. Se debe fijar a la cubierta previamente impermeabilizada.

Estas reducciones de temperatura reducen el consumo de energía eléctrica por sistema de aire acondicionado o de aparatos electrodomésticos encargados de la ventilación. Además de tener la función de aislador, las cubiertas verdes reducen la temperatura del ambiente por medio de procesos fisiológicos de la vegetación como son la evapotranspiración, la fotosíntesis y la capacidad de almacenar calor de su propia agua.

Basado en lo anterior se evidencia que la temperatura es uno de los factores importantes a tener en cuenta en la implementación de dichos sistemas, ya que un tanto de esto dependerá su desempeño.

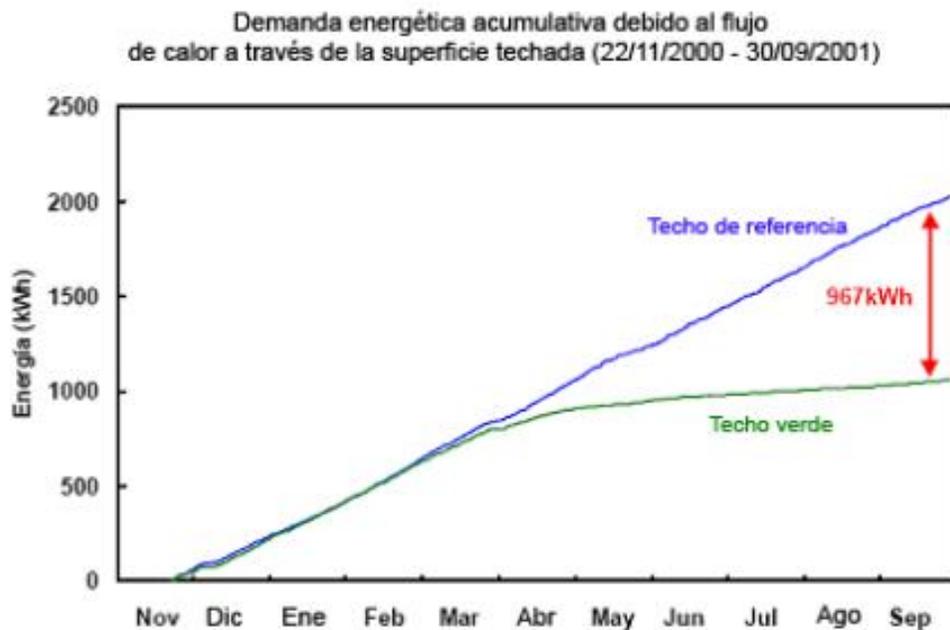
Figura 14. Requerimiento diario de energía promedio debido al flujo de calor a través de la superficie techada.



Fuente: Adaptado de “Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Area” (P. 69) por B. Bass, B Baskaran, 2003.

Tal y como se muestra en la figura anterior, algunos cambios en la temperatura pueden afectar directa o indirectamente el desempeño del sistema, debido a ellos dichos parámetros deben tener una estricta supervisión. Con el fin de garantizar el mejor resultado posible.

Figura 15. Requerimiento energético acumulado debido al flujo de calor a través de la superficie techada



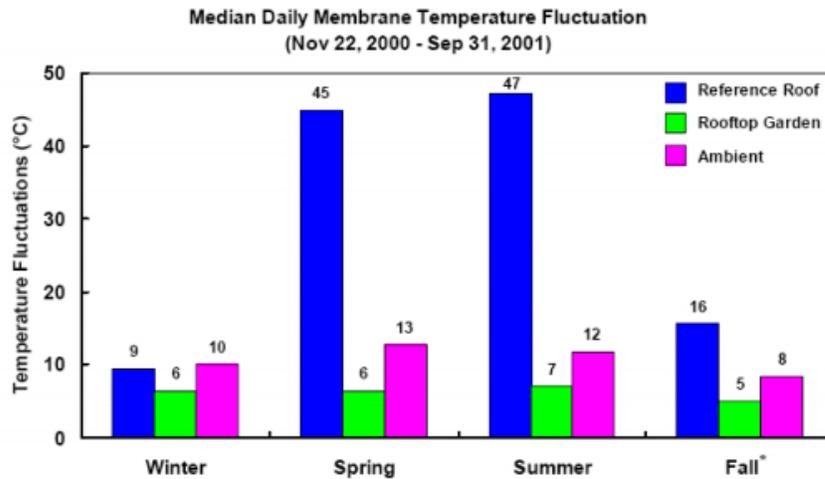
Fuente: Adaptado de “Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Area” (P. 69) por B. Bass, B Baskaran, 2003.



• **Prolongación de la vida útil de la cubierta:** Los sistemas vegetales ayudan a proteger las cubiertas en condiciones de temperatura extrema, por lo tanto se aumenta la durabilidad estructural de la cubierta (Teemusk y Mander, 2009). Con las cubiertas verdes, se puede extender la vida de un techo a 40 años, que es el doble de una cubierta tradicional (Ibáñez, 2008). En Europa, se viene implementando la tecnología de techos verdes desde hace más de 20 años, y con base algunas investigaciones ésta tecnología permite prolongar la vida útil de la cubierta hasta 50 años (Roofscapes, 2002 citado en Kosareo y Ries, 2007) o 60 años (Livingroofs.org y Ecology Consultancy Ltd., 2004).

Un estudio experimental realizado por Bass y Baskaran se utiliza un sensor situado en la membrana de la cubierta en ello se encuentra que la fluctuación térmica era de 45°C mientras que en el techo verde era de 6°C [Bass & Baskaran 2003]. La temperatura máxima que alcanzó la membrana del techo de referencia fue de 70°C mientras que la membrana del techo verde no superaba 40°C. En las siguientes figuras se puede apreciar la fluctuación en la temperatura de la membrana impermeable del techo de referencia y en un techo verde. La siguiente figura 16 muestra la fluctuación media para las dos membranas y para el ambiente según la estación del año.

Figura 16. Fluctuación diaria media de la temperatura de la membrana por estación



Fuente: Adaptado de “Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Area” (P. 62) por B. Bass, B Baskaran, 2003.

Reducción del efecto de isla de calor: Tal y como se menciona con anterioridad, los techos verdes contribuyen a la regulación de temperatura debido al implemento de vegetación, al producirse esto, se reduce el efecto de isla de calor, que consiste en un aumento de temperatura en zonas urbanas.

- **Creación de hábitats:** Los techos verdes pueden convertirse en hábitat de fauna menor, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad en áreas urbanas.



Figura 17. Beneficios de los techos verdes en los diferentes sectores.

SECTOR	BENEFICIOS
AMBIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> Regulación térmica del ambiente Reducción del efecto de isla de calor urbano Mejora de la calidad del aire Secuestro de CO₂ Reducción de escorrentías Aprovechamiento del agua pluvial Aislamiento acústico Conservación de la biodiversidad
ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> Incentivos fiscales Incremento en el valor de los inmuebles Aumento en la vida útil de los tejados
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"> Reducción en el consumo de energía Mejora de la salud física y mental Disminución en los porcentajes de mortandad Fomento de las relaciones sociales Acceso a la educación verde Obtención de productos agrícolas para el autoconsumo Mejora estética de las urbes

Fuente: Adaptado de “Techos verdes: una estrategia sustentable” (p.73), por López-González, B; Camacho, A; Martínez-Rodríguez, M; Marcelino-Aranda, 2020, Tecnología en Marcha. 33(3).

La figura anterior evidencia los enormes beneficios que se obtienen tras la implementación de un sistema sostenible tan novedoso como los techos verdes, generando un impacto positivo en los tres sectores más importantes, ambiental, social y económico. Esto es uno de los mejores proyectos que las ciudades deberían adoptar de manera extensiva.



CAPITULO IV

TECHOS VERDES COMO SOLUCION A PROBLEMAS DE DRENAJES URBANOS.

Las civilizaciones que han logrado construir enormes asentamientos urbanos a lo largo de los tiempos han tenido que lidiar entre otras problemáticas como la saturación de redes de drenaje urbano debido a los enormes caudales pluviales que varían de un lugar a otro dependiendo de las zonas geográficas y condiciones climáticas prevalecientes de la zona, lo que ha obligado a las entidades competentes buscar las soluciones a corto, mediano y largo plazo que garanticen una gestión y rehabilitación sostenible de sus drenajes urbanos, esto se ha visto implementar con mayor influencia en unos países más que en otros, teniendo en cuenta factores como inversión económica o desarrollo expansivo en la construcción de las zonas urbanas, entre otros aspectos que se evidencian en numerosos estudios realizados en distintas partes del mundo.

Por estas razones, la recolección de agua de lluvia y este tipo de instalaciones pueden convertirse en un tema clave para la sostenibilidad y la resiliencia de ciudades, así mismo se señala cómo la planificación urbana puede ser determinante en la transición hacia el desarrollo de sistemas de captación de agua de lluvia en ciudades. La transición hacia esta nueva gestión sostenible de drenajes urbanos tiene grandes ventajas dentro de las que es de gran importancia la gestión de la escorrentía pluvial, evitando la saturación de las

En base a lo anterior se puede inferir que los techos verdes tienen un papel importante que desempeñar como SUDS, por ende, proporcionan retención de volumen de la escorrentía, y pueden ayudar a mejorar la calidad de la escorrentía. En la figura 2 se observa el techo verde experimental que se realizó para el presente estudio. (Stovin, V. 2009).

Figura 19. Monitoreo del desempeño del techo verde de la Universidad de Sheffield banco de pruebas.



Fuente: (Stovin, V. 2009).

En zonas urbanas ubicadas geográficamente donde las intensidades de lluvia son considerablemente altas el tema de las escorrentías es un motivo de preocupación cuando los sistemas de drenaje no tienen un dimensionamiento que sea capaz de soportar la



evacuación de enormes caudales pluviales, lo que en muchas ocasiones se ha convertido en un riesgo alto para la población, así mismo en un estudio experimental realizado en la universidad de Génova- Italia donde firman que “La pérdida de suelo natural y vegetación dentro del entorno urbano puede afectar el ciclo hidrológico al aumentar las tasas y los volúmenes de escorrentía de aguas pluviales.” Así mismo en este estudio el coeficiente de escorrentía más alto (48%) obtenido para la intensidad de lluvia local con un período de retorno de 5 años y se considera un valor pequeño si se compara con los coeficientes de escorrentía habituales de los techos impermeables (Palla, A., Gnecco, I., & Lanza, L. 2010)..

Cabe mencionar que los datos monitoreados en el sitio experimental concuerdan con los datos obtenidos mediante la literatura, evidenciando que un sistema de techo verde es capaz de controlar significativamente la generación de escorrentías de aguas pluviales, incluso en las regiones mediterráneas, en términos de reducción del volumen de escorrentía, atenuación del pico de salida y aumento del tiempo de concentración. (Palla, A. 2010).

Por otro lado, si se esperan mejores resultados y un óptimo rendimiento en la rehabilitación del sistema de drenaje urbano se debe implementar con mayor extensión y de esta manera lograr una gestión sostenible (Palla, A. 2010).



Figura 20. Eventos observados en el techo verde de la Universidad de Génova (Italia) y porcentaje de volumen retenido y reducción del flujo máximo.

Event (yyyy/mm/dd)	Rain Depth (mm)	Retained Volume (%)	Peak Reduction (%)	Delay (min)
2007/05/26	9	100	100	-
2007/05/28	12.4	100	100	-
2007/06/01	42.4	99	99	345
2007/06/05	41.2	41	87	79
2007/08/08	13.2	100	100	-
2007/08/09-10	14	95	98.7	793
2007/08/20	15.2	95	99.9	89
2007/08/21	32.6	96	99	436
2007/09/27	28.6	99	99.6	150
2007/11/21	8	100	100	-
2007/11/22-23	138.2	9.5	79	148
2008/01/4-5	32.8	70	76	754
2008/01/11-12	41.4	15	87	427
2008/01/16	40.4	4.6	78	139
2008/02/04	30.4	51	70	197
2008/03/9-10	23.2	81	94	596
2008/04/9-11	55	93	96	1716
2008/04/21	25.4	23	46	145
2008/06/17	35.6	19	77	91
2008/09/03	25.8	31	94	306
2008/09/13	23.2	100	100	-
2008/09/19	28.2	56	69	303
2008/09/22	16.6	19	84	145
2008/10/28	71.6	18	52	93
2008/10/29	74.8	0	91	71
2008/11/04	48	0	93	118
2008/11/11-12	72	0	61	174
2008/11/29	35	17	44	95
2008/12/9-10	98.6	13	52	128
2008/12/16-17	32.6	0	72	212
<i>Mean</i>	-	51.5	83.3	310
<i>Std. Deviation</i>	-	40.7	17.9	357

Fuente: (Palla, A. 2010).



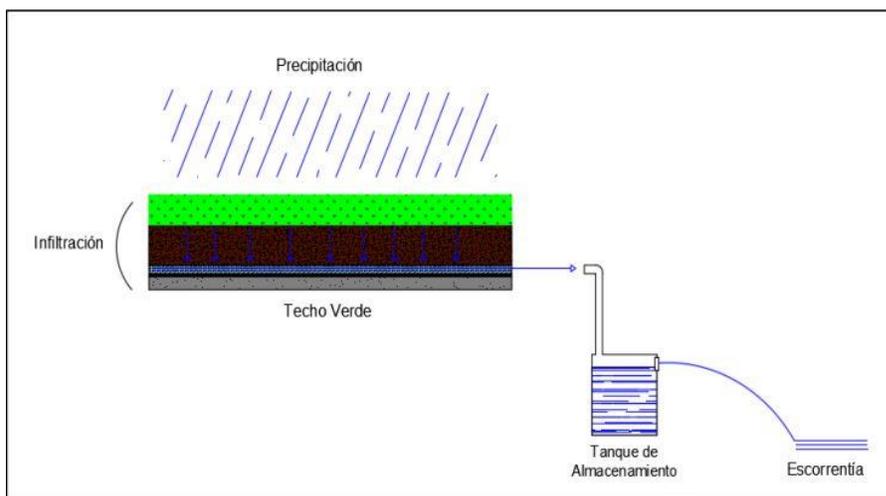
El comportamiento hidrológico del techo verde experimental se examinó evento por evento, durante un período de diecinueve meses en el que cinco de los treinta eventos de lluvia monitoreados no produjeron ningún flujo de salida, en todos los eventos el volumen de lluvia se infiltró completamente (no se produjo escorrentía) y solo parcialmente exfiltrado. Las variables sintéticas (volumen retenido, reducción del flujo máximo y retraso) que se utilizan para describir el rendimiento hidráulico del techo verde se definen a continuación y se enumeran los resultados experimentales como se observa en la Tabla 1 (Palla, A. 2010).

Dentro de las ventajas más importantes que poseen los techos verdes se pueden mencionar la capacidad de retención de precipitación y en consecuencia la disminución de escorrentía superficial urbana, esto se denomina como algunos de los factores determinantes del rendimiento de dichos sistemas sostenibles. Así mismo se dice que la capacidad de retención de precipitación se encuentra estrechamente ligada a su composición y también dependerá de la intensidad de la lluvia. Debido a que no en todos los casos se logra una absorción del 100% de agua lluvia en los techos verdes quedara un restante de caudal que posteriormente pasa a formar parte de la escorrentía que circula a través de la superficie del suelo, teniendo en cuenta que no alcanza a infiltrarse (Ramírez, V. 2020).

Evaluando el efecto de la técnica de gestión sostenible de aguas lluvias en sectores urbanos y su impacto en el pico de escorrentía en un sector de la ciudad de Cartagena de

Indias, se realiza un estudio en el que además de la implementación del techo verde se recurre a un complemento de almacenamiento esperando mejorar los resultados de retención de precipitaciones. La especie vegetal usada en este caso fue una planta muy conocida en este departamento y se conoce comúnmente como Duranta (Duranta Goldem). Partiendo de datos previamente obtenidos y de la implementación del sistema en un lapso de tiempo aproximado de dos meses se observan resultados sorprendentes ya que el sistema pudo retener con solamente el techo verde hasta el 100% de la precipitación recibida con eventos de lluvia menores a 13 mm. Para eventos de más de 13mm, la retención de la precipitación varió entre un 51% y un 98%; la variación de la retención dependerá de la frecuencia e intensidad. En promedio, la retención para eventos mayores a los 13mm es de 74.5% (Ramírez, V. 2020).

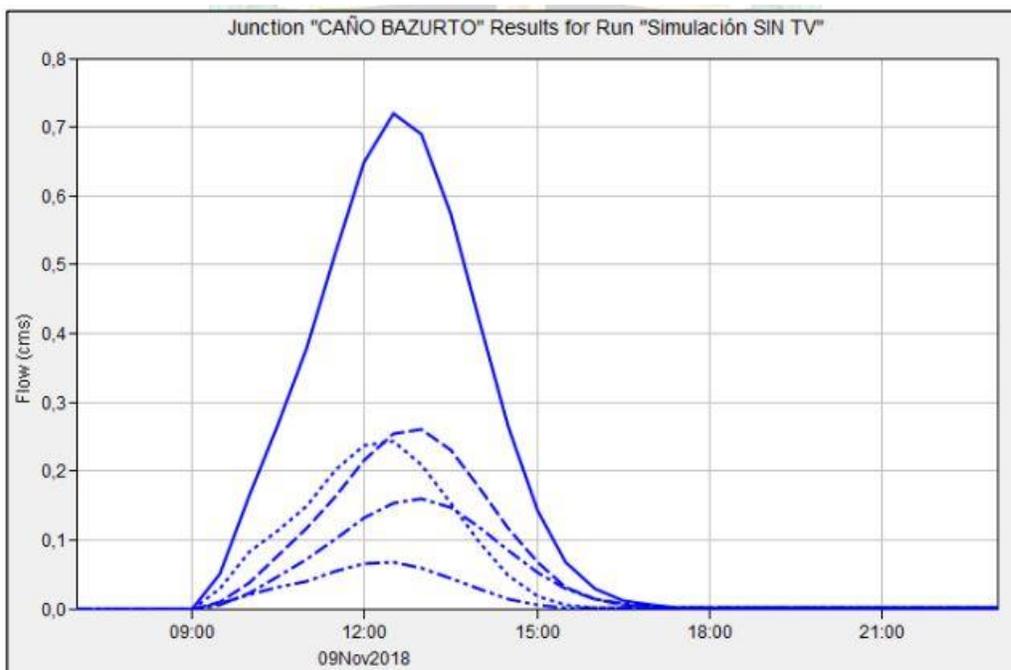
Figura 21. Esquema del sistema Techo verde - Tanque de almacenamiento



Fuente: (Ramírez, V. 2020)

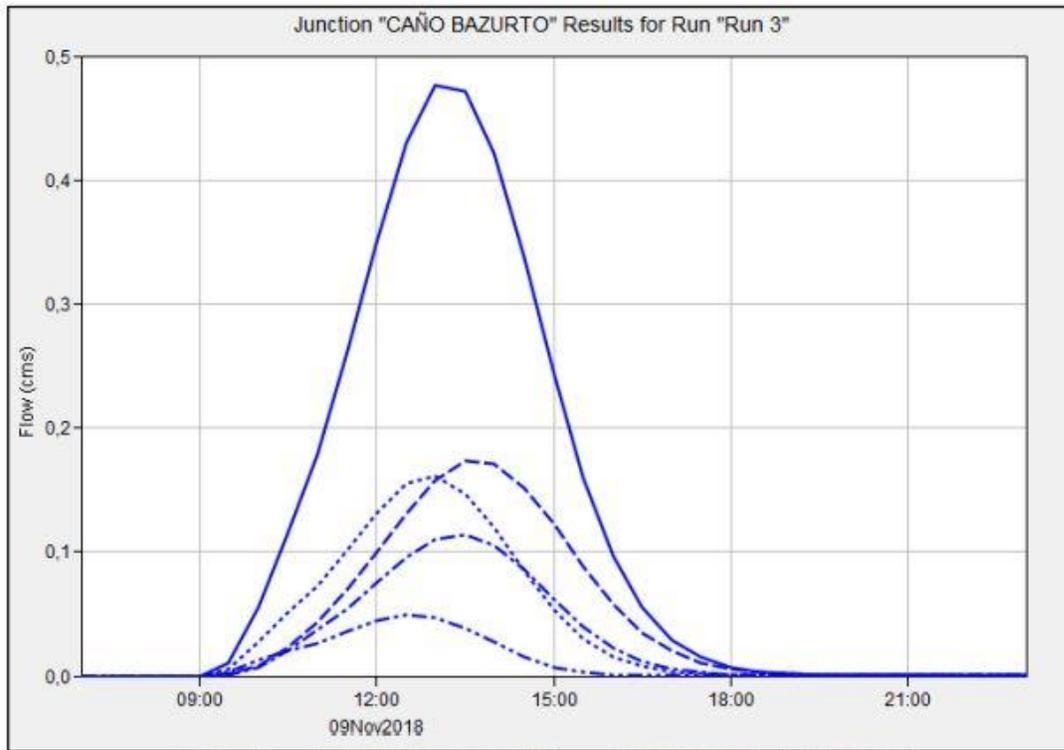
En el mismo orden de ideas se estima por medio de simulación con y sin el sistema en el Software hidrológico HEC-HMS adicionando un tanque con capacidad de almacenamiento de 120 litros en un área de estudio de 0,252 km², determinando que el sistema es capaz de captar el total de la precipitación que cae sobre el techo verde, ocasionando un retardo en la descarga de escorrentía hacia el punto final de salida de la zona estudiada, lo que produjo una reducción del 32,86 % en el pico de caudal de escorrentía (Ramírez, V. 2020).

Figura 22. Gráfica de caudal total que entra al Caño Bazurto Vs tiempo, antes de aplicar el sistema.



Fuente: (Ramírez, V. 2020)

Figura 23. Gráfica de caudal total que entra al Caño Bazurto Vs tiempo, después de aplicar el sistema



Fuente: Ramírez, V. 2020

Finalmente se evidencia el alcance e impacto positivo que llega a tener este sistema de techos verdes, dejando en claro una vez más la importancia de la presencia de material vegetal, ya que representa el equilibrio que necesita la naturaleza para mitigar el impacto negativo que dejan las enormes construcciones urbanas que alteran y amenazan las propiedades originales en el medio ambiente.

La rehabilitación urbana es uno de los temas más importantes que ha recibido particular atención en las últimas décadas, ya que la triste experiencia que han tenido que



vivir muchas zonas urbanas en el mundo deja en claro la importancia de un diseño sostenible en las construcciones debido a la insuficiente capacidad que poseen los drenajes urbanos para controlar las enormes escorrentías que se generan a causa de la impermeabilidad de los suelos urbanos, hecho que ha generado grandes controversias y que para algunos autores como (Andres, V y otros. 2014).

Así mismo la aplicación de superficies permeables en procesos de rehabilitación hidrológica en entornos urbanos se encuentra limitada por la necesidad de mantenimiento y el sobrecoste que conllevan. Sin embargo, es una medida estrictamente necesaria ya que de lo contrario en poco tiempo las zonas urbanas no podrán soportar el impacto de las oleadas invernales que enfrentara el mundo debido al creciente cambio climático, tal y como señala (Andres, V y otros. 2014) la importancia de “El uso conjunto de estas técnicas en entornos urbanos mejora el comportamiento hidrológico, reduciendo el volumen de escorrentía y laminando la caudal punta, posibilitando la revalorización y reutilización del agua.”

Los estudios de estos investigadores demuestran que las cubiertas verdes tienen la capacidad de absorber, filtrar, retener y almacenar entre 40 y 80 por ciento de la precipitación anual que cae sobre ellas, dependiendo de la intensidad de las precipitaciones y el tipo y grosor de la capa del sustrato. Una capa de 12 cm. demora hasta 12 horas en comenzar a liberar el agua almacenada durante un evento de lluvia y continúa liberándola durante cerca de 21 horas (Scholz- Barth y Tanner, 2004), lo que ayuda a reducir la tasa de flujo y el volumen del agua en el sistema de alcantarillado (López, 2010).



Además de reducir el flujo de agua, los techos verdes retardan el momento crítico de la descarga al drenaje, ya que el sustrato necesita tiempo para saturarse (Carter y Jackson, 2007).

En un estudio realizado por (López, N., Barreto, W., Méndez, N. 2015) se plantean 6 escenarios del cual se toman hidrogramas de escorrentía teniendo en cuenta las condiciones de drenaje de la cubierta.

En el escenario 8 se genera un hidrograma en las calles considerando los techos originales y la calle en asfalto.

En el escenario 9 se plantea el mismo escenario del inciso anterior pero esta vez con la influencia de los techos verdes.

En el escenario 10 Techos verdes y se anexa un tanque de almacenamiento.

En el escenario 12 es igual al escenario 9 utilizando un pavimento permeable.

En el escenario 13 Es igual al escenario 10 utilizando un pavimento permeable.



Figura 24. Porcentajes de reducción del caudal pico en los distintos escenarios

Escenario	Q max (lps)	Reducción del caudal pico %
8	1171,33	0,00
9	811,19	30,75
10	642,99	45,11
11	798,74	31,81
12	456,20	61,05
13	295,25	74,79

Fuente: (López, N., Barreto, W., Méndez, N. 2015)

Se observa para el escenario 9, que el uso de techos verdes reduce en un 30.75 % el caudal pico, la cual sirve para tener agua en cada vivienda. Por otro lado, si además de utilizar techos verdes, se adiciona un tanque de almacenamiento como se observa en el escenario 10, la reducción del caudal pico se incrementa a 45,11 %, debido al acopio y al retardo que se produce por el tránsito del hidrograma producido que esto implica.

En otro estudio, realizado en el 2004 en Carolina del Norte, USA, se utilizó 2 techos verdes instalados a aproximadamente 37km de distancia el uno del otro. El promedio de retención de la precipitación para ambos techos fue de 63% (Moran, 2004). Se registró una variación significativa en el porcentaje de agua retenida durante los 9 meses estudiados. A continuación, se presentan las tablas con la información correspondiente.



Figura 25. Precipitación retenida en el techo verde en WCC, Goldsboro, NC.

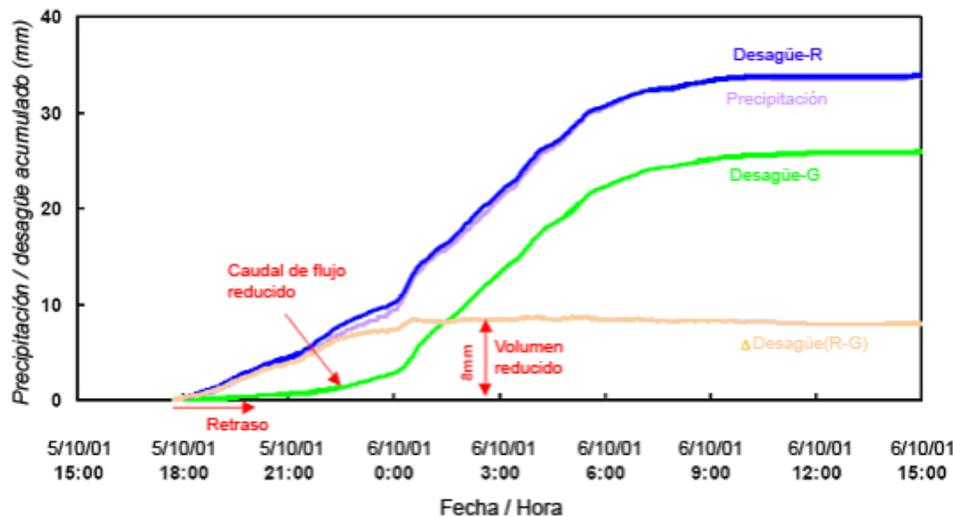
Periodo	Precipitación [mm]	Cantidad desaguada [mm]	Cantidad de agua retenida [mm]	Retención
Abril 2003	104	49	55	53%
Mayo 2003	124	64	60	48%
Junio 2003	55	10	45	82%
Julio 2003	266	124	142	53%
Agosto 2003	67	22	45	68%
Septiembre 2003	84	19	65	78%
Octubre 2003	86	21	65	75%
Noviembre 2003	31	4	27	88%
Diciembre 2003	85	32	53	62%
TOTAL	901	345	556	62%

Fuente: Adaptado de "Precipitación retenida en el techo verde en WCC" por Moran, 2004.

Un estudio de caso denominado como un gran avance en los esquemas urbanos de recolección de lluvia a través de la planificación ecologización urbana, realizado en Estocolmo y Barcelona demuestra que la ecologización urbana en este caso por medio de techos verdes es uno de los mejores proyectos a implementar con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de los sistemas de drenaje urbano, ya que por lo menos en estas dos ciudades se enfrentan problemas por inundaciones en ciertos vecindarios debido a que las lluvias son de gran intensidad, además de la implementación de las Unidades de respuesta hidrológica tomando la forma de lechos de árboles a nivel de la calle en Estocolmo o jardinería vertical en Barcelona, resaltando que se obtiene la rehabilitación de los sistemas de drenaje urbano, los autores mencionan una serie de beneficios, incluida la calidad del agua, los espacios verdes, un aire más limpio y, en general, una mejor estética urbana (Suleimana, L., Olofssona, B., et all. 2020).

En el mismo estudio mencionado anteriormente en North Carolina, con un techo verde se registró una demora de 3 horas y media entre el comienzo de las precipitaciones y el momento en que empezó el proceso de desagüe [Moran, 2004]. En el estudio realizado por Penn State Green Roof Research Center, se registró una demora máxima de 2 horas y 20 minutos [Berghage et al., 2007]. El siguiente gráfico (Figura 3.1) muestra el registro del caudal acumulado desaguado de un edificio con un techo verde, y uno convencional en un evento de lluvia.

Figura 26. Desagüe acumulado para un evento de lluvia registrado entre el 5 y 6 de octubre d 2001.



Fuente: “Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Area” (p. 70) por B. Bass, B Baskaran, 2003.

4.1 Proceso constructivo de los techos verdes

Los techos verdes se han convertido en una forma de acercar la naturaleza en áreas urbanas donde se cuenta con poco espacio o que se tiene una estructura de diseño compleja, este tipo de tecnologías se implementan tanto en viviendas normales como en edificios y otras estructuras, teniendo en cuenta ciertas consideraciones como las especies de vegetación que serán sembradas, el tipo de estructura donde serán implementadas y si esta tendrá la resistencia suficiente para soportar este peso, además de esto los costos que se deben tener en cuenta para su implementación entre otros aspectos que forman parte de la etapa preliminar del proyecto.

En Colombia existen empresas que se dedican profesionalmente a prestar el servicio de implementación de techos verdes, y algunas de ellas nos facilitan ciertas pautas y consejos a tener en cuenta para implementar una buena construcción de los techos verdes.

Figura 27. Cubierta verde intensiva y extensiva.



Fuente: (Helecho, 2019)



Así mismo existen factores determinantes y de fundamental consideración dentro de los que se mencionan a nivel situacional y climatológico: la ubicación geográfica, la orientación y la altura, y en cuanto al viento es de vital importancia conocer datos como su dirección para el correcto diseño de aspectos como el sistema de riego, de igual manera la orientación garantizara la cantidad de radicación que deberán soportar los techos, teniendo en cuenta horas de sol, temperatura y en cuanto a la lluvia se debe conocer intensidad, duración y otros aspectos como la humedad relativa (Cárdenas M., Ibáñez, A. 2011).

En cuanto a la edificación se deben conocer algunas características a tener en cuenta como: la edad de la edificación, el uso que se le da a este como comercial, industrial, habitacional u otro, la zona donde se encuentra situada si es el centro de la ciudad o en una zona aledaña, la capacidad de carga que tengan las estructuras si es o no aceptable, zona geográfica, la pendiente de la techumbre, altura, ya que esta información me permitirá conocer con más exactitud el tipo de techo verde que puedo implementar, garantizando una gran cantidad de beneficios tanto socio-económicos como ambientales, sin dejar de lado la seguridad y la exposición en que se puede ver comprometido todo lo relacionado a la edificación (Cárdenas M., Ibáñez, A. 2011).

De igual forma el tema de la pendiente del lugar donde se instalara el techo verde es sumamente importante ya que la arquitectura varía de forma abrupta en distintos países, es por esto que se sugieren algunas recomendaciones para pendientes a ciertos grados, tal y como se menciona en el artículo guía del sitio web de la empresa (Helecho, 2016), las



cubiertas que superan los 10° (Diez grados) de inclinación deben cumplir aún más parámetros como requerimientos técnicos y especies vegetales seleccionadas, debido al riesgo que estos representan, y en este caso también se deben considerar mayores esfuerzos cortantes, peligro de erosión y mayor riesgo de sequía de las especies vegetales.

Para este tipo de pendientes, es un requisito previo el uso de capas de impermeabilización anti raíces, además se recomienda el uso de mallas anti erosión fabricadas en materiales como yute o plástico, para evitar inconvenientes con las erosiones de sustrato o incluso de capas del techo verde en sí. (Helecho, 2016).

Existen casos en que se construyen techos verdes en lugares con pendientes alrededor de 45°, pero esto no es recomendable ya que será un gran desafío, tanto la construcción, el mantenimiento e incluso su buen funcionamiento como tal.

Si la implementación del techo verde es a una escala considerable en el cual se pueden ver comprometidas la resistencia de las estructuras del inmueble sería importante tener en cuenta la realización de cálculos estructurales, partiendo de que siempre se debe diseñar con el peso en condiciones de saturación para cada material, para no descartar condiciones extremas y subestimación de absorción del material vegetal.

De igual manera se debe evaluar a futuro el avance o desarrollo que una edificación pueda tener ya que en algunos casos se consideran ampliaciones, remodelaciones, o incluso demoliciones. Sin embargo, en caso de avanzar con el proyecto se deben tener conocimientos previos sobre la distribución de redes tanto eléctricas como aquellas que



serán usadas para la evacuación de las aguas lluvia recolectadas a través del sistema de techo verde. (Cubiertas ajardinadas, sf)

En cuestión de aspectos a tener en cuenta acerca de la vegetación que se usara en el techo verde es de igual importancia mencionar ya que siempre son fundamentales para un excelente desempeño, dentro de los que podemos resaltar algunas características de la cobertura vegetal como: porte (Altura de crecimiento), crecimiento y reproducción, sistema radicular, requerimientos nutricionales, requerimientos hídricos, periodo de resistencia a la sequía. Estos aspectos serán determinantes a la hora de elegir especies de vegetación, cantidad de individuos a sembrar, incluso cuestiones de mantenimiento (Helecho, 2016).

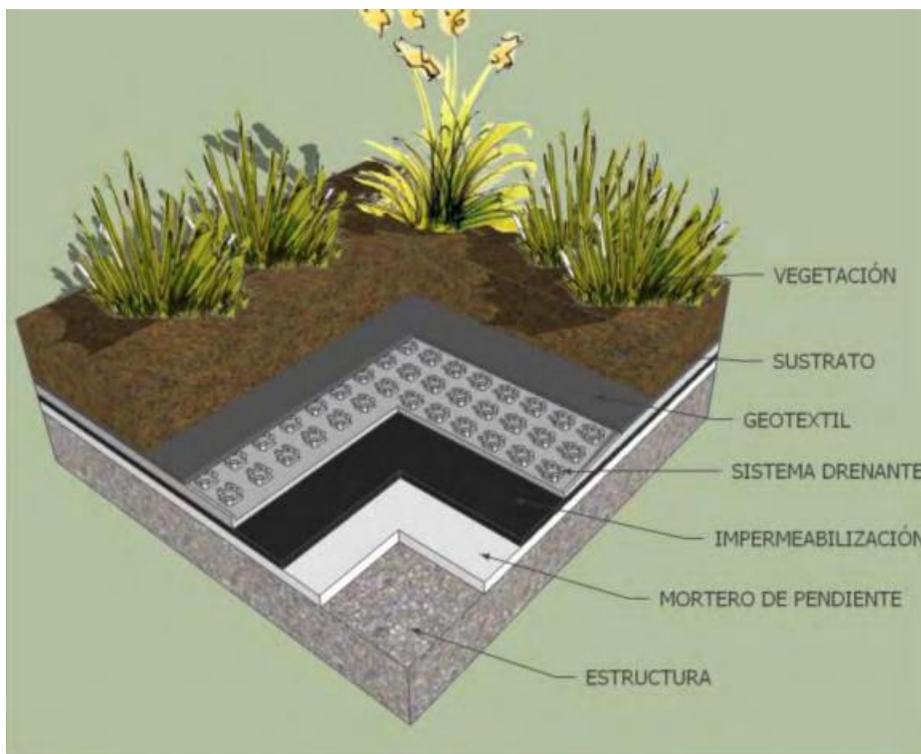
El caso del sistema radical es muy importante ya que su inadecuado manejo podría representar graves consecuencias como daño al cobertizo del techo del inmueble o directamente a su estructura en general, algunas especies son bastante débiles en relación a las condiciones climáticas es por ello que se debe tener sumo cuidado, entre otros cuidados que se deben focalizar en el tema de vegetación.

En general se deben tener bastantes aspectos en consideración ya que se debe garantizar en lo mayor posible que el sistema genere beneficios y no problemas, cuando se menciona esto se quiere hacer referencia a ciertos casos en los que una implementación no adecuada puede traer graves riesgos, en este caso se puede mencionar el caso de posibles incendios por falta de mantenimiento en el techo verde o daños a la estructura por causa de

las raíces de la vegetación, incluso daños por posibles filtraciones a través de los elementos de permeabilización en caso de no ser instalados correctamente.

Después de ser estricta y minuciosamente evaluados los parámetros previos a tener en cuenta, se procede a cumplir ciertas secuencias o procedimientos para la adecuada implementación de los techos verdes según se plantea por (Cárdenas M., Ibáñez, A. 2011) y como se menciona a continuación.

Figura 28. Ejemplo de las capas de un techo verde.



Fuente: (Cárdenas M., Ibáñez, A. 2011)



4.1.1- Requisitos previos de seguridad del personal.

Debido a la compleja y peligrosa labor que este tipo de instalaciones representan, se debe cumplir de manera estricta los requerimientos de seguridad de todo el personal involucrado, tales como los EPP (Elementos de protección personal), y la previa capacitación de trabajo en alturas, además de esto el personal debe estar usando arnés, y demás elementos de seguridad para evitar accidentes por posibles caídas de alturas superiores a 1,5 metros. Sumado a esto, se deben tener precauciones a la hora de manipular y trasladar materiales de distintos tipos.

4.1.2- Requisitos previos a la instalación.

a- Acabados de la superficie de instalación.

Esta placa sobre la cual se instalará la membrana de impermeabilización debe estar totalmente a nivel, es decir, homogénea con el fin de evitar complicaciones futuras debido a estancamientos o daños en el material impermeabilizante.

En cuanto a la pendiente del soporte del techo verde, su valor debe estar alrededor del 2%, con el fin de garantizar un buen drenaje y evitar que se hagan posibles estancamientos de agua, en este caso se debe tener en cuenta posibles cambios en las estructuras por cambios de condiciones climáticas como la temperatura.

b- Red de evacuación de aguas lluvias.

Se puede instalar de dos maneras usando desagües puntuales para el caso de sifones o desagües lineales si se prefiere usar canales, de igual manera en ambos casos se deben tener en cuenta ciertas consideraciones como la interacción directa de la cobertura vegetal con estos elementos de desagüe, además de la implementación de sistemas de control como rejillas para evitar el escape de material que produzca cualquier obstrucción al sistema de desagüe.

4.1.3- Instalación

Figura 29. Instalación de techos verdes



Fuente: (Helecho, 2016)



c- Barreras filtrantes.

En este caso se usará como material el geotextil y deberá instalarse en franjas dejando traslajos de al menos 15 cm ajustando los bordes y asegurándolos de manera que no surjan desplazamientos por distintas causas.

d- Medios de crecimiento.

Esta etapa hace referencia al sustrato y su modo de aplicación, ya que debe fabricarse de acuerdo a la dosificación y granulometría correcta de cada componente, así mismo se debe mezclar de manera homogénea y en estado seco.

Para la aplicación en las áreas de siembra del material vegetal se debe distribuir en dos capas sin necesidad de compactar y su profundidad depende del tipo de techo verde implementado.

4.1.4- Cobertura vegetal

Teniendo en cuenta los parámetros previamente evaluados se escogen ciertas especies vegetales dependiendo del tipo de techo verde que se vaya a implementar, así mismo se mencionan tres medios para realizar las plantaciones de las especies, los cuales se mencionan a continuación.

El primer medio se denomina plantaciones por siembra de plantas la cual consiste en hacer orificios con un diámetro y profundidad acorde a las dimensiones de las raíces que tenga la planta, estas se sembraran dentro del orificio habiendo ya pasado al menos un mes



en crecimiento antes de ser llevadas al techo verde, es recomendable que la siembra se realice sobre la plataforma del techo verde de centro a extremos para evitar daños.

El segundo medio es la plantación por semilla, cuya actividad consiste en esparcir una cierta cantidad de semillas por metro cuadrado según la especie, así mismo deben ser cubiertas con sustrato y pasar por un crecimiento que abarca un lapso de tiempo de varias semanas, dependiendo de factores como la especie, condiciones climáticas, nutrientes suministrados, entre otros. El tercero es la plantación por medio de tapetes vegetales pre-cultivados, que en este caso solo consiste en instalar una malla de soporte que lleva sobre ella una capa de 3 a 4 cm de sustrato sembrado con vegetación de bajo porte.

4.1.5- Seguimiento de un techo verde recién implementado.

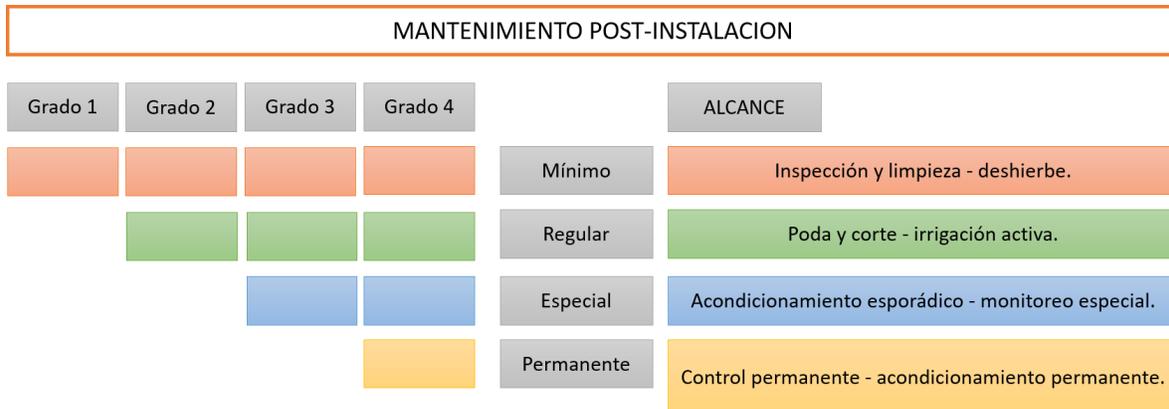
En esta fase se realiza el seguimiento desde el momento de la entrega hasta su consolidación, con el fin de verificar el desempeño del mismo, y garantizando su cumplimiento de funciones y servicio.

4.1.6- Mantenimiento de un techo verde.

La etapa de mantenimiento es de vital importancia ya que esto garantizará una larga duración en operación y funcionamiento del techo verde en óptimas condiciones, es decir que de esto depende el tiempo y calidad del servicio que sea prestado por dicho sistema.

Así mismo se pueden establecer ciertos grados de mantenimiento como se muestra en la siguiente figura.

Figura 30. Mantenimiento post-instalacion de techos verdes



Fuente: Cárdenas M., Ibáñez, A. (2011).

Se definen los grados de mantenimiento de la siguiente manera;

En el grado 1 (Mínimo) está relacionado a elementos como sumideros y desagües. De igual manera el tema de deshierbe es necesario para evitar la proliferación de hierbas intrusas.

En el grado 2 (Regular) se hace alusión al mantenimiento relacionado con el crecimiento de la vegetación, cuando ya se supera el tamaño normal que se establece en el diseño de debe realizar una poda para eliminar el exceso en crecimiento, así mismo se debe garantizar el suministro hídrico al sistema, el cual se puede realizar por medio de microaspersión, goteo o nebulización, siempre y cuando no se supere el límite de absorción hídrica del sistema, con el fin de evitar posibles deterioros en el sistema.



se debe garantizar el adecuado manejo y separación de materiales y elementos según sea su composición.

Disposición final: Los elementos tendrán su correspondiente disposición final aquellos que califiquen como residuo, e igualmente aprovechados aquellos que puedan seguir en prestación de un servicio.





REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

(5) Abellán, A. (2016) Tipos de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. SuD Sostenible. Recuperado de [<http://sudsostenible.com/tipologias-de-las-tecnicas-de-drenaje-urbano-sostenible/>]

(16) Abellán, A. (2016) Drenes filtrantes o franceses. SuD Sostenible. Recuperado de [<http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/drenes-filtrantes-o-franceses/>]

Andres, V., Sañudo, L., Castro, D., Rodríguez, J. 2014. Rehabilitación hidrológica urbana, Congreso latinoamericano REHABEND 2014 Pag, 1-9

(15) Barón, S. (2020) Lineamientos para el desarrollo de estructuras: sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Instituto distrital de gestión de riesgos y cambio climático. Recuperado de [http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/cg_mitriesgo_anexo_11._proyectos_de_intervencion_de_drenajes_de_sistemas_urbanos_y_rurales.pdf]

(12) Calvo, D., Gómez, A., Rodríguez, P. (2016) Techos Verdes: Un Estilo Ecoamigable. Digital Ciencia@Uaqro. Pág. 1-10 Recuperado de



[https://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/ArchivosPDF/v9-n1/QUIM-6.pdf]

Cárdenas M., Ibáñez, A. (2011). Guía de techos verdes en Bogotá, secretaria Distrital del Ambiente, Pág. 45-52

(10) Castro, M. (2011) Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano. Monografía de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. Pág. 1-90

Cevallos, L. (2018) “Diseño Del Sistema De Alcantarillado Pluvial Para La Comuna De Joa, Cantón Jipijapa” Universidad Estatal Del Sur De Manabí pág. 1-27

(6) Cruz, M. (2014) Reparación, rehabilitación y renovación de redes. Interempresas. Recuperado de [<https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/121692-Reparacion-rehabilitacion-y-renovacion-de-redes.html>]

(9) Duran, J. (2016) Descripción de los sistemas urbanos de drenaje sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones. Monografía de grado. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá D.C Pág. 1-43.

(14) Grimoldi, E. (2009) Diseño y aplicación de techos verdes. Tesis de grado. Recuperado de [https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/489/501066_Grimoldi.pdf?sequence=1&isAllowed=y]



Guía de instalación de un techo verde [Artículo guía], Cubiertas Ajardinadas, recuperado el 5/06/2021 de [<https://www.cubiertasajardinadas.com/guia-de-instalacion-de-un-techo-verde/>]

Helecho (23 de diciembre de 2019) Infraestructura Verde, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, Techos verdes. Recuperado de <https://helecho.co/techos-verdes/>

Helecho. (15 de abril de 2016). Requerimientos generales de Diseño para un Techo Verde [Artículo guía], Recuperado el 6/06/2021

(1) issuu (2019) Guía de Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible- Documento Técnico de soporte -SUDS. Recuperado de [https://issuu.com/sda2015/docs/gu_a_t_cnica_de_dise_o_y_construcci]

López, R. (1995) Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería pág. 1-198 ISBN 958-95742-0-3

(13) López, N., Barreto, W., Méndez, N. (2015) Techos verdes como solución al problema de inundaciones en medios urbanos. Artículo de investigación

Meta, pág. 12-15 Recuperado de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/5661/1/2018_diseno_alcantarillado_pluvial.pdf



Palla, A., Gnecco, I., & Lanza, L. (2010). Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs. *Water*, 2(2), 140–154. doi:10.3390/w2020140

Ramírez, V. 2020 Efecto Del Sistema Techo Verde – Tanque De Almacenamiento En El Pico De Escorrentía En Un Sector Del Barrio Manga, En Cartagena De Indias. Universidad de Cartagena

Revista Gaceta Técnica. Volumen 14 (1) pp.9-21, julio – diciembre, 2015. ISSN 1856-9560 (Impreso) ISSN: 2477-9539 (Internet) Depósito Legal pp 1999907LA22 ppi201602LA4730

Salamanca, C., Rodríguez, J. & Ruiz, C. (2018) Diseño Del Alcantarillado Pluvial De La Parcelación Residencial San Carlos Ubicada En El Municipio De Villavicencio-

(11) Secretaría Distrital de Ambiente SDA (2011) Sistema Urbanos De Drenaje Sostenible. Documento Técnico De Soporte DTS Recuperado de [http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds_colombia_suds.pdf]

Stovin, V. (2009). The potential of green roofs to manage Urban Stormwater. *Water and Environment Journal*, 24(3), 192–199. doi:10.1111/j.1747-6593.2009.00174.x

Suleiman, L., Olofsson, B., Saurí, D., & Palau-Rof, L. (2020). A breakthrough in urban rain-harvesting schemes through planning for urban greening: Case studies from



Stockholm and Barcelona. Urban Forestry & Urban Greening,

126678. doi:10.1016/j.ufug.2020.126678

(2) Valdivielso, A. (s.f) ¿Qué son los SUDS? iAgua. Recuperado de [https://www.iagua.es/respuestas/que-es-sistema-urbano-drenaje-sostenible-suds]

(3) Valdivielso, A. (s.f) ¿Qué es un sistema de drenaje pluvial? iAgua. Recuperado de [https://www.iagua.es/respuestas/sistema-drenaje-pluvial]

(7) Villalonga, M. (2016) Rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el uso de técnicas de SUDS. Barcelona. Escuela técnica superior de ingeniería de caminos, canales y puertos. Pág. 1-174

(4) Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). The SUDS manual (C697). CIRIA.

(8) “Esquema del ciclo hidrológico. Sus procesos se ven afectados por la urbanización de la cuenca” (Villalonga, M. 2016).