

EVALUACIÓN POTENCIAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN TECHO VERDE EN LA
UNIVERSIDAD DE AMÉRICA ECOCAMPUS

LAURA DANIELA ASCENCIO LONDOÑO

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIRECTOR

ING. HARVEY ANDRÉS MILQUEZ SANABRIA
INGENIERO AMBIENTAL

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre del director

Firma del Director

Nombre

Firma del presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2022

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingeniería

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Ingeniería Ambiental

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
1. ANTECEDENTES	11
2.JUSTIFICACIÓN	14
3.OBJETIVOS	16
3.1 Objetivo general	16
3.2 Objetivos específicos	16
4.DELIMITACIÓN	17
5.MARCO REFERENCIAL	18
5.1 Marco Conceptual	18
5.1.1 <i>Cubiertas verdes</i>	18
5.1.2 <i>Ventajas de los techos verdes</i>	19
5.1.3 <i>Componentes y elementos de las cubiertas verdes</i>	22
5.1.4 <i>Tipos de cubiertas verdes</i>	23
5.1.5 <i>Calificación secundaria</i>	24
5.1.6 <i>Vegetación y sustrato</i>	25
5.1.7 <i>Impermeabilizantes</i>	27
5.1.8 <i>Funciones básicas del sistema</i>	28
5.1.9 <i>Aspectos técnicos</i>	31
5.1.10 <i>Mantenimiento</i>	31
5.2 Marco legal	33
5.2.1 <i>Resolución 6423 de 2011</i>	33
5.2.2 <i>Resolución 1570 de 2014</i>	33
5.2.3 <i>Acuerdo 418 de 2009 del Concejo de Bogotá</i>	33
5.2.3 <i>Decreto 566 de 2014 de la Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.</i>	34
6.DISEÑO METODOLÓGICO	35
6.1 Procedimiento	35
7.DESARROLLO	36
7.1Estado actual	36
7.1.1 <i>Edificio Administrativo</i>	36

7.1.2 <i>Imágenes del lugar</i>	36
7.2 Etapas del proceso – Ciclo de vida	38
7.2.1 <i>Planeación</i>	38
7.2.2 <i>Preparativos</i>	38
7.2.3 <i>Instalación</i>	39
7.2.4 <i>Mantenimiento</i>	39
7.2.5 <i>Desmante</i>	39
8.. RESULTADOS	40
9. CONCLUSIONES	42
10. RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	44

RESUMEN

Las estructuras de techos verdes han cobrado gran importancia recientemente por los diferentes beneficios ambientales, sociales y económicos que generan. Es por esto, que a través de este trabajo se analiza el potencial de construcción de un techo verde en el edificio administrativo de la sede Ecocampus de la Universidad de América. Se realiza la revisión bibliográfica de las características que un techo verde debe tener para su correcto funcionamiento y las diferentes opciones que existen para la escogencia del sustrato, la vegetación, el material impermeabilizante y la función que se desea implementar en la cobertura verde, se busca encontrar todas las actividades previas que deben ser tenidas en cuenta para la construcción del mismo.

Se evidenció que es viable construir un techo verde en el Ecocampus de la Universidad de América que cumpla con las características propuestas en el presente documento, el cual se enfoca en el estudio de los tipos, las ventajas, los componentes y elementos, la calificación secundaria, los diferentes tipos de vegetación y sustrato, los materiales impermeabilizantes, las funciones básicas del sistema, aspectos técnicos y el mantenimiento de los techos verdes deberían tener o cumplir. De la misma manera, se hace la revisión de la normativa vigente en Colombia. Finalmente, se hace la propuesta del sistema seleccionado en donde se recomienda que se construya un techo verde autorregulado, que sea de tipo moderado con una altura de vegetación de máximo 50 cm y un peso de 100 kg/m², la vegetación mas apropiada es Herbácea perennifolia y herbácea aromática, con un sustrato en donde el contenido sea de 80% material orgánico y 20% inorgánico, y para el material impermeabilizante se propone la membrana blanca termoplástica reforzada y membrana impermeable poliuretano.

Palabras clave: techo verde, sustrato, vegetación, material impermeabilizante.

INTRODUCCIÓN

Los techos verdes son instalaciones que se utilizan para recobrar la naturaleza en edificios de concreto. De esta manera, los techos verdes es un sistema que se instala en la superficie de un techo donde se busca recrear la situación previa a la construcción de la edificación subsanando el espacio perdido por parte de la naturaleza. Asimismo, pueden ser intensivos o extensivos, lo cual depende de las adecuaciones y características de la vegetación a utilizar. El proyecto requiere de una planeación, una selección de alternativas, una construcción y finalmente un mantenimiento los cuales serán abordados durante este estudio.

Debido al desarrollo creciente, existe una tendencia de migración desde lo rural hacia lo urbano. Esto obliga a que la población se asiente cada vez más en las grandes ciudades y se expanda la población sin tener una mayor disponibilidad en el terreno. Esta demanda de vivienda exige a que la ciudad construya cada vez más edificaciones y desplace las zonas verdes para poder acoger a las personas que cada vez migran más hacia la ciudad. Como la vegetación es desplazada, cada vez se está perdiendo el suelo vegetal y se remueven los beneficios y necesidades que estos brindan. Es por esto, que existe una necesidad de subsanar esta problemática construyendo techos verdes que devuelvan un poco de suelo vegetal a la selva de concreto.

Además, es de vital importancia que los ingenieros ambientales investiguen en nuevas actividades innovadoras que generen soluciones a las problemáticas que diariamente afectan nuestro país, Colombia, y en menor escala nuestra ciudad, Bogotá, donde se busca un reemplazo de la cotidianidad y de la manera como se vive actualmente dando la posibilidad de subsanar el daño causado, lo que puede significar un aumento en el bienestar y una mejora a la calidad de vida de las personas. Por esta razón, se propone una alternativa que se lleve a cabo en la Universidad de América Ecocampus que sea de conexión y abra un espacio para la adopción de tecnologías que aporten al medio ambiente. Lo cual localiza a la Universidad como un sitio clave en donde se pueda analizar la viabilidad y requerimientos para la construcción de un techo verde.

Por consiguiente, los techos verdes brindan diferentes beneficios como la captación de agua lluvia para minimizar los volúmenes de escorrentía, la generación de hábitat para diferentes especies,

como también, un valor paisajístico al lugar donde se lleva a cabo, y además trae múltiples beneficios como control de temperatura al interior del edificio, la utilización de agua lluvia para el riego natural, la mejora de calidad del aire ambiental, la regulación de humedad, la reducción de los niveles de ruido, la reducción de las zonas pavimentadas y la reducción del remolino de polvo en las ciudades. Como también, fomentan la biodiversidad al crear hábitats naturales y conectar la naturaleza dentro de la ciudad. Finalmente, mejora la calidad del aire ya que la vegetación captura el CO₂ y el material particulado liberando O₂ a la atmosfera (Wolverton, 1989).

Sin embargo, cuentan también con beneficios económicos dado que el aumento de la durabilidad de la cubierta y capa de impermeabilización ya que las defiende de los deterioros por parte de la radiación solar y fluctuaciones térmicas y climatológicas, lo cual significa un ahorro en gastos de reparación o reemplazo. También incide en el incremento del valor comercial del edificio porque aportan un valor agregado estético y funcional en la edificación; por último, reduce el consumo energético y costos de operación por el aislamiento térmico que aminora costos de climatización (Zielinski, S; García , M; Vega, J. 2012).

Entre los beneficios sociales encontramos: aislamiento acústico y absorción de ruido, aumento del espacio utilizable y de vegetación, beneficios para la salud física y mental, alivio visual y educación ambiental (Zielinski, S; García , M; Vega, J. 2012).

Por otro lado, el descubrimiento de los techos verdes se hizo en el año 600 a.c. (Magill, J; Midden, K; Groninger, J; Therrell, M, 2011). Y desde entonces ha seguido su trayectoria con avances tecnológicos y de investigación que ahora hacen más probable y conocida su construcción a lo largo del mundo. En la actualidad existen premios enfocados a la implementación y construcción de edificaciones verdes, como lo son las paredes verdes y los techos verdes. Donde se puede observar el potencial de aprovechamiento e incremento de valor comercial de las edificaciones que incluyan estas estructuras. Uno de ellos son los Premios Verdes a Iberoamérica, que en la categoría de Innovación e Infraestructura premian el esfuerzo y la importancia de los avances tecnológicos en materia ambiental, este premio representa la ratificación de un propósito superior que sigue impulsando a trabajar en pro de la madre tierra para darle al planeta más techos verdes y a los seres humanos mayor comodidad y descontaminación (SENA, 2022).

Es por esto que en la Universidad de América se planea implementar un techo verde que cumpla con las características adecuadas para su construcción ya que existe el espacio disponible para tal fin y se quiere dar un valor agregado a la construcción en su fachada, además del valor ambiental que implica la construcción de un techo verde para la comunidad académica que lo vivirá.

1. ANTECEDENTES

La idea de implementar vegetación sobre las construcciones o lugares en donde vivimos no es reciente, de hecho, viene desde la antigüedad y de culturas muy diferentes. En el 600 a.C. se implementaban jardines dentro de las casas y construcciones lo cual se asemeja a una cobertura vegetal. Así como, en los mausoleos de los emperadores romanos Augusto y Adriano se construían jardines rematados por un montículo de tierra en forma cónica con plantaciones de árboles (Álvarez, 2007). Más adelante, los vikingos utilizaban lechos de material vegetal para impermeabilizar sus casas y proteger la temperatura hacia adentro del hogar para poder sobrevivir las bajas temperaturas y protegerse de estas en el interior de sus hogares (Donnelly, 1992).

Después, se comenzaron a utilizar las cubiertas verdes como técnicas de construcción en países nórdicos donde las temperaturas eran bajas, tales como, Escandinavia, Islandia y Canadá, había una necesidad de regular la temperatura al interior de las viviendas y hacer un aislamiento de las condiciones del exterior. La adecuación de las cubiertas o techos se conformaba por una capa de pastizal de un grosor de aproximadamente 20 cm, que eran puestas sobre una corteza de varias capas de abedul sellada con alquitrán que proporcionaba una superficie resistente a las raíces y el agua de intemperie (Minke, 2004)

Hasta finales del siglo XIX se desarrollaron las cubiertas vegetales que se asimilan a las que conocemos actualmente. Estas se caracterizaban por tener una capa impermeable que se construía en combinación de un subproducto alquitranado proveniente de la producción del carbón unido con unas capas de papel. Sobre esta capa existía una capa de grava y una capa de arena para prevenir el daño y sobre esto empezaba a crecer la vegetación (Köhler, 2010). Pero no fue sino hasta la década de los años 60 que se consolidó el conocimiento de los fundamentos para la construcción de una cobertura vegetal. Es así como Reinhard Bornkamm, un botánico, comenzó a estudiar la ecología de las cubiertas vegetales. Para los años 90, en Alemania habría 10 millones de metro cuadrados de coberturas vegetales y por sus altos beneficios la Unión Europea, Canadá y Estados Unidos habrían adoptado políticas encaminadas a la instalación de coberturas vegetales (Magill, 2011).

Actualmente es una técnica que se utiliza con frecuencia y que es adoptada por países como; Alemania, Estados Unidos, Inglaterra, Suiza, Austria, Japón, entre otros; para reducir las emisiones de contaminantes como el CO₂ y de esta manera cumplir con los convenios para proteger el medio ambiente. Asimismo, en Latinoamérica los primeros pioneros del uso de esta tecnología fueron Argentina y México. Cada uno con la iniciativa “Construcción verde- Del gris al verde” y el proyecto SIKA respectivamente, que son proyectos que han fomentado la construcción de techos verdes y han realizado grandes avances sobre el tema sobre esta parte del mundo.

A lo largo de la historia se ha evidenciado la importancia y la necesidad de las cubiertas vegetales y la necesidad de transformación de las ciudades para recuperar la naturaleza que se ha desplazado. Ya que es la integración de la selva de concreto y el medio ambiente, además, ayuda a compatibilizar el desarrollo urbano con la ecología y la sostenibilidad.

Es más, el impacto de los techos verdes puede ser realmente significativo y por ello en 2009 el Concejo de Bogotá expidió un Proyecto de Acuerdo para “buscar que, en los techos, cubiertas o terrazas de los edificios o inmuebles, se implemente y genere la tecnología de techos verdes, como una alternativa de mejoramiento ambiental, que permita mitigar los impactos negativos de fenómenos naturales que afectan el planeta”. Se calcula que un metro cuadrado de techo verde captura el 10% del material particulado de un carro, retiene 50 litros de agua lluvia en un año, compensa el 20% de la huella de carbono de una persona y produce el oxígeno requerido por un ser humano (Avellana, 2016).

Por otra parte, en Bogotá D.C. existe una Política de Ecourbanismo y Construcción sostenible, en la cual se direccionan acciones de orden técnico, institucional, económico y social que generan lineamientos para los instrumentos de planeación que reorientan las actuaciones de urbanismo y construcción hacia un enfoque de desarrollo sostenible, contribuyendo con la transformación de un territorio resiliente que mitiga y se adapta al cambio climático. Permitiendo así un acceso equitativo a los bienes y servicios colectivos locales de la ciudad y para mejorar la calidad de vida de los habitantes, contando con 3 ejes que son; las practicas sostenibles, el fortalecimiento institucional y gestión publica y la cultura y educación ciudadana. Poner en marcha esta política implica adoptar nuevas practicas en el ciclo de vida de las edificación, cambios en el diseño,

construcción y procesos de operación que reduzcan el mantenimiento, disminuyan el consumo energético, promuevan la energía renovable, reduzcan al máximo las emisiones y minimicen los residuos generados. Los indicadores que da cuenta del aporte son, primero, área de techos verdes y jardines verticales en el perímetro urbano de Bogotá, reportado voluntariamente por empresas que implementan dicha tecnología en la ciudad con siglas ATVJV, segundo, metros cuadrados de techos verdes y jardines verticales implementados en espacio público y privado, promovidos en el marco del Plan de Desarrollo Bogotá Mejor para Todos con siglas MTVJVEPP (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2019).

2.JUSTIFICACIÓN

La expansión urbana, el constante desarrollo y la mentalidad humana de seguir creciendo, ha llevado a pensar equívocamente que el ser humano es el único ser que prima en el ambiente. A la naturaleza no se le da la importancia que merece y cada día sufrimos las consecuencias que se dan por la desenfrenada deforestación y la falta de cuidado hacia el ambiente, creciendo la contaminación, la polución, los casos de enfermedades respiratorias, el deterioro del entorno y los escasos de medios naturales. Por esta razón, es importante devolver y subsanar un poco del daño acoplado coberturas vegetales sobre las edificaciones de concreto en las ciudades.

En este caso más específico los techos verdes permiten que el medio ambiente tenga más respiraderos naturales aplacando las acciones negativas que el ser humano tiene sobre éste. Así, se deben tener presente los diferentes beneficios que los techos verdes proporcionan a las personas y a nuestro planeta. Es necesario atender al deterioro ambiental y saber que el ecosistema natural está disminuyendo aceleradamente y que es necesario contrarrestar estas acciones a tiempo para evitar la extinción de nuestra raza y además añadirle una mejora visual a la selva de concreto (CEPAL, 2020).

Es por esto, que se piensa buscar las alternativas que hacen viable un techo verde en la Universidad de América Ecocampus. Debido a que, no solo es beneficioso para el medio ambiente, sino que, es un atractivo para las personas de la universidad como profesores, estudiantes y trabajadores. En donde, la comunidad se responsabilice y este satisfecha de pertenecer a una institución que se preocupa por el entorno que habita y por el bienestar común. Contando, además, con los siguientes beneficios:

- Control de temperatura interior. En condiciones de frío retiene el calor adentro y en condiciones de calor regulariza la temperatura, ya que las plantas de la cobertura son capaces de absorber y disipar calor (Liu & Minor, 2005).
- La utilización del agua lluvia para el riego natural (Marchena, 2012).

- Mejora la calidad del aire debido a que las plantas son un captador natural de CO₂ y productor de O₂. Además, reducen la concentración de material particulado (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).
- Regulan la humedad ya que atrapan el agua atmosférica y la condensan en gotas de agua (García, 2020).
- Reduce los niveles de ruidos al actuar como un aislante acústico (Marchena, 2012).
- Se aporta un beneficio a un espacio que por el momento no aporta o no cuenta con un propósito, lo que brinda un aspecto positivo en un espacio disponible (García, 2020).
- Reducción de las zonas pavimentadas (García, 2020).
- Reducción de remolino de polvo (Wolverton, 1989).

De esta manera, se busca implementar un techo verde en las instalaciones del edificio administrativo de la universidad, lo que promueve una sociedad más consciente y un ambiente más limpio.

3.OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Identificar el potencial de construcción, con las características necesarias, de un techo verde en las instalaciones de la Universidad de América, Ecocampus, que cumpla con los requerimientos ambientales que aseguren su construcción y una buena calidad de vida de la comunidad universitaria.

3.2 Objetivos específicos

- Investigar sobre las posibles especies vegetales que sean viables en un techo verde en Bogotá
- Hacer un estudio de las condiciones necesarias para la construcción de un techo verde
- Describir las ventajas y alternativas de los techos verdes en la ciudad capital
- Identificar el alcance de la cobertura, bien sea como huerta o solo vegetación
- Proponer un sistema de cobertura verde para el Ecocampus

4.DELIMITACIÓN

La investigación se va a llevar a cabo para el techo del edificio administrativo que hace parte de la infraestructura de la Universidad de América Ecocampus.

5.MARCO REFERENCIAL

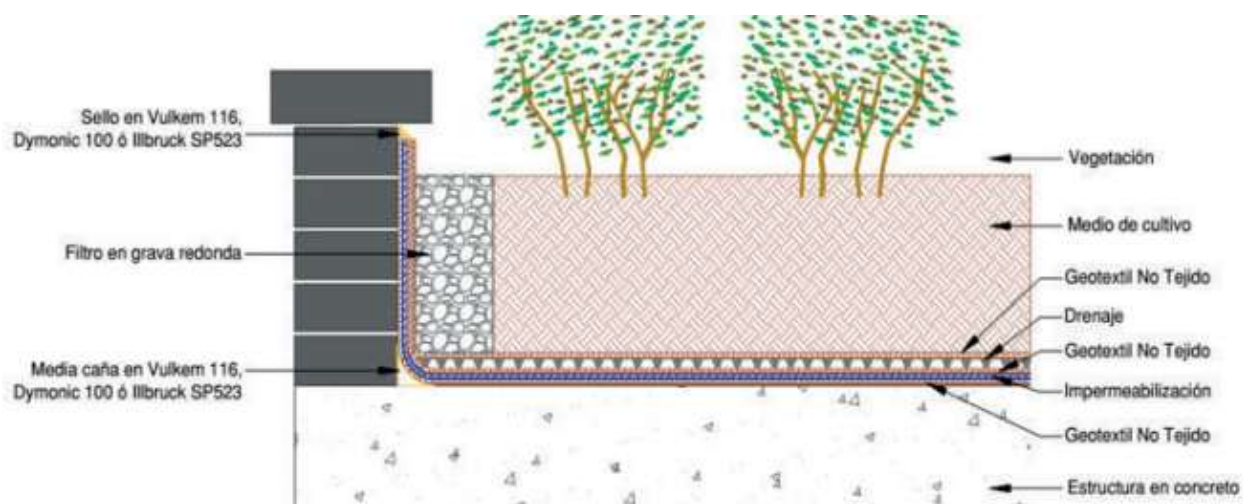
5.1 Marco Conceptual

5.1.1 Cubiertas verdes

Este tipo de cubiertas se encuentran en la parte superior de edificaciones, ya sea parcial o que cubra la totalidad integrando el hábitat natural y material vivo o vegetal sobre los techos de los inmuebles. Esto se hace por medio de implementación de tecnologías que mejoran el hábitat, ahorran consumo de energía, recuperan la función ecológica del espacio y aumentan el atractivo visual de las edificaciones. Las cubiertas verdes tienen como fin crear una semejanza de reproducir la naturaleza en el entorno urbano, ayudar a generar un ambiente sostenible, reducir el CO₂, además de climatizar el edificio. Para que sea posible debe cumplir con las siguientes funciones básicas: estanqueidad, drenaje, capacidad de retención de agua, estabilidad mecánica, nutrición y filtración (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014).

Figura 1.

Componentes de una cubierta vegetal.



Nota. La figura muestra las diferentes secciones y capas que componen un techo verde. Tomada de Toxement.

(2018). 'Guíabásicaparalainstalacióndetechovegetal. [Archivo en pdf]

https://www.toxement.com.co/media/3510/spec_techos_vegetales.pdf

5.1.2 Ventajas de los techos verdes

El tener una cobertura verde es devolver e incluir una zona vegetal para el ambiente asfáltico de una ciudad moderna.

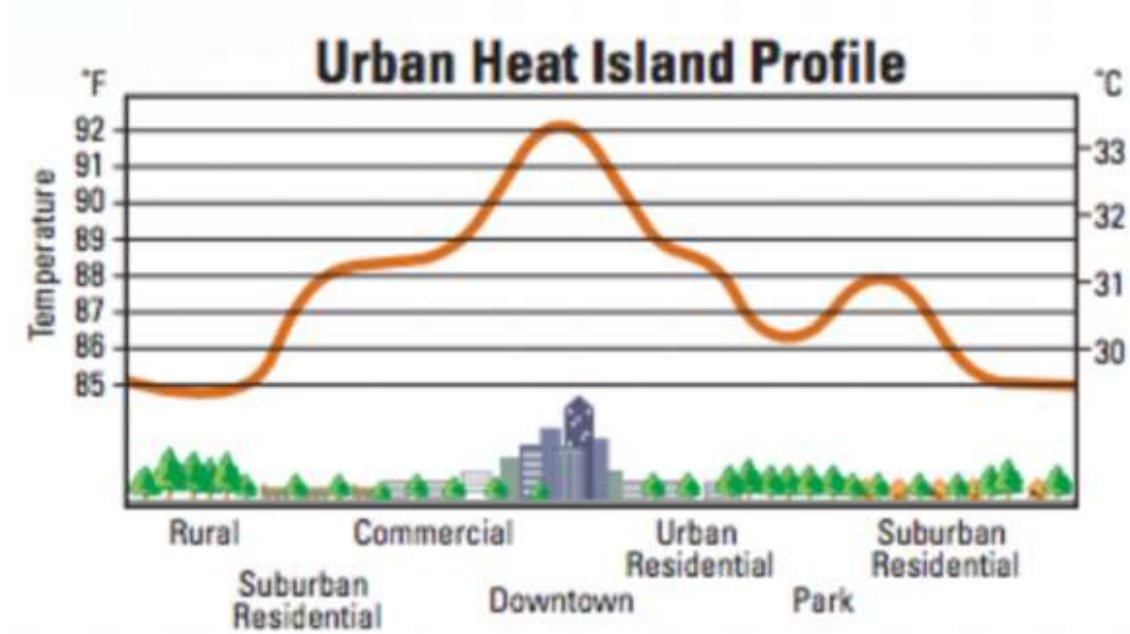
5.1.2.a Aislamiento térmico. Usualmente en la construcción de un techo verde se cuenta con una capa de sustrato de aproximadamente 15-20 cm, dependiendo del grosor de la capa vegetal, típicamente el sustrato cuenta con una capacidad aislante ya que suele contar con una conductividad de 0.6W/mK cuando se encuentra húmedo (Minke, 2004). Además, la vegetación se comporta como una sombra en la superficie del techo ya que previene que los rayos provenientes del sol impacten directamente con el edificio generando menos radiación y conducción de la temperatura. Finalmente, las plantas utilizan la energía de la radiación para utilizarla en el proceso de la fotosíntesis, lo que consume la mayor parte de energía/calor que llega de la luz solar (Minke, 2004). De esta manera, las plantas tienen la capacidad de regular la temperatura del ambiente y la amplitud de la misma, a través de la evapotranspiración, que aumenta a medida que aumenta la temperatura y, la condensación. Es más, en un proyecto realizado en Toronto, Canadá, se evaluaron comparativamente dos sistemas de techo verde que implementaban un sustrato ligero, de 75 a 100mm, y en ambos casos, se reduce el flujo de calor a través del techo en un 70-90% en verano y 10-30% en invierno (Liu & Minor, 2005). Inversamente, también se ve una reducción en el acondicionamiento que debe haber al interior de la edificación ya que al contar con una capa aislante vegetal el calor al interior se mantiene más tiempo funcionando igualmente cuando hay temperaturas bajas al no reducir la energía que se necesita para calefacción.

5.1.2.b Reduce el efecto de isla de calor. La “isla de calor” es un efecto que se encuentra en ciudades donde se concentra el calor por las características de los materiales de las construcciones y edificaciones. Debido a que los materiales predominantes en las ciudades tienen un nivel de albedo bajo (colores opacos), en donde los rayos no son reflejados sino absorbidos, reteniendo así la energía e incrementando el calentamiento.

Como se observa en la Figura 2, hacia la zona rural y suburbios se ve una disminución de temperatura, y aunque el albedo del material vegetal también es bajo, como mencionaba anteriormente las plantas utilizan los rayos solares para procesos de fotosíntesis y evapotranspiración lo que no aumenta la temperatura. Contrario a lo que se ve en los edificios y asfaltos, ya que la radiación no se refleja y la que se alcanza a reflejar choca con otra superficie de las mismas características por la altura de los edificios. Es así como en la ciudad se puede aumentar hasta 12°C y permaneces calientes por mucho más tiempo que el de la exposición solar. Lo que termina en adquirir más equipos acondicionadores y aumentar la energía para regular las temperaturas. De este modo, una cobertura verde funcionaría disminuyendo el efecto de “isla de calor”.

Figura 2.

Perfil de isla de calor en zona urbana.



Nota. La figura muestra el perfil de temperaturas comparado con la cercanía al centro de la ciudad y sus edificaciones. Tomada de Environmental Protection Agency –EPA-. (2013). ‘Perfil de temperaturas verano, isla de calor. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/las-islas-de-calor>

5.1.2.c Control agua lluvia. Las coberturas verdes extensivos tienen la capacidad de absorber el 40% del agua lluvia que cae en el techo, el restante es drenado por la infraestructura (Ibañez, 2008). Lo que quiere decir que hay un porcentaje de lluvia que se utiliza naturalmente por las plantas, y

que, además, si se implementa un sistema de recirculación se haría uso del agua que se expulsa por la escorrentía. Lo cual lo convierte en un sistema urbano de desagüe sostenible, siendo así beneficioso ya que el agua que usualmente terminaría en el sistema de alcantarillado se utiliza con doble propósito, evitando que se colmaten las tuberías subterráneas y disminuyendo la cantidad de agua residual producida en una ciudad (Marchena, 2012). Por el contrario, en un techo tradicional toda el agua lluvia sería evacuada y no se haría un aprovechamiento de esta, aumentando los niveles de caudales en el alcantarillado de la ciudad.

5.1.2.d Mejora de la calidad del aire. Las plantas funcionan como un filtro de aire natural, ya que son naturalmente captan CO₂ del aire para el proceso de fotosíntesis y liberan O₂ por la reacción $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Se calcula que 1 m² de fachada vegetal extrae 2.3 kg de CO₂ al año y produce 1.7 kg de oxígeno (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021). De esta manera, se reducen los niveles de dióxido de carbono atmosféricos que son uno de los gases de efecto invernadero y son producidos en las ciudades por la utilización de energía y transporte. Además, las plantas también se encargan de filtrar el material particulado y otras sustancias como metales pesados, ya que las partículas quedan adheridas en las superficies de las hojas y son arrastradas después por la lluvia en el piso del sustrato (Mosquera, 2018). También, sustancias contaminantes que se encuentran como gases o aerosoles en el ambiente que son sustancias nocivas para la salud y causantes de enfermedades respiratorias. La NASA realizó un estudio llamado *Interior Landscape Plants For Indoor Air Pollution Abatement*, que estudiaba la mala calidad del aire al interior de edificios que tenían pobre circulación de aire, donde se comprobó que las plantas tenían la capacidad de remover sustancias químicas nocivas para la salud como el benceno, formaldehído y tricloroetileno (Wolverton, 1989).

5.1.2.e Regulación de la humedad. Como se mencionó anteriormente, los techos verdes absorben el agua lluvia y el sustrato funciona como un material filtrante de baja velocidad, lo que mantiene la humedad al interior. Por esta razón, cuando las temperaturas aumentan y se ve un proceso de evapotranspiración la humedad retenida en el suelo se intercambia con el ambiente aumentando la humedad relativa y mejorando las condiciones de temperatura y humedad al aire libre. Por otro lado, también pueden ayudar a retener agua de una manera más eficiente por el punto punto de rocío en donde el agua del ambiente se condensa generando gotas líquidas que se forman en los

foliares y luego pasa al sustrato, aprovechando de este modo el agua en forma de niebla del ambiente para el riego natural del techo (García, 2020).

5.1.2.f Reducción niveles de ruido. Los techos verdes son unas estructuras efectivas para aislar la contaminación auditiva proveniente de las vías vehiculares, los aviones y la maquinaria. Debido a que la cobertura vegetal tiene la capacidad de absorber las ondas de alta frecuencia y el sustrato bloquea las ondas de baja frecuencia, los techos verdes reducen la resonancia del sonido en 3 dB y proporcionan un aislamiento acústico de 8dB, lo que representa una reducción de aproximadamente el 50% de la percepción de ruido en los humanos (Marchena, 2012).

5.1.2.g Beneficio doble propósito. Los techos tradicionales en las ciudades son infraestructuras que difícilmente ofrecen un propósito diferente al de funcionar para aislamiento y cobertura del edificio del ambiente exterior. Sin embargo, las coberturas verdes, además de continuar con el mismo propósito, trae un valor agregado mayor del que cuentan los techos tradicionales. Al traer todos los beneficios que se mencionan anteriormente en un lugar que difícilmente cumplía otra función y en donde no se aprovechaba ningún tipo de espacio. Ahora, las coberturas traen un sin fin de beneficios devolviendo a las ciudades asfálticas una conectividad con la naturaleza, mejor calidad de aire y un microclima agradable reduciendo así las zonas pavimentadas sin un beneficio (García, 2020).

5.1.3 Componentes y elementos de las cubiertas verdes

Todas las coberturas vegetales deben contar con componentes activos, componentes estables y elementos auxiliares según la Secretaría Distrital de Ambiente en su guía práctica de Techos Verdes y Jardines Verticales del 2011.

5.1.3.a Componentes activos. Son los componentes que tienen constantes cambios fisicoquímicos para cumplir sus funciones en el techo vegetal. Estos son elementos biológicos que soportan la vida del sistema y son la cobertura vegetal y el medio de crecimiento, los cuales deben adaptarse a las condiciones ambientales y las interacciones del lugar para lograr tener una cubierta verde exitosa. La cobertura vegetal son especies vegetales que conforman la capa superior del sistema

como se muestra en la Figura 1. Este tipo de especie debe ser seleccionada de tal forma que pueda sobrevivir y permanecer en el ambiente para asegurar el éxito de la cubierta vegetal. Por otro lado, el medio de crecimiento es el componente que asemeja el suelo vegetal en condiciones naturales que satisfacen las necesidades básicas de las plantas empleadas. Este es un sustrato granular que sea lo suficientemente poroso para permitir la aireación de las raíces y el paso del agua. Pero también debe ser permeable para que se pueda dar el paso de nutrientes y agua para que sean absorbidas por las raíces. Es importante mencionar que es el componente con mayor peso en la estructura (Secretaría Distrital de ambiente, 2011).

5.1.3.b Componentes estables. Son los elementos inertes que permiten la estabilidad y aseguran las condiciones para que se adapte correctamente el medio vegetal sobre los techos de las edificaciones que son las membranas de impermeabilización, barrera anti-raíces, barreras filtrantes, losetas, medios de drenaje, elementos del sistema de irrigación, entre otros (Secretaría Distrital de ambiente, 2011).

5.1.3.c Elementos auxiliares. Son elementos inertes que cumplen funciones específicas para que el techo sea efectivo o para las diferentes funcionalidades del mismo, estas son estructuras que ayudan a la separación, confinamiento, protección, evacuación de agua, tránsito, riego, iluminación, entre otros (Secretaría Distrital de ambiente, 2011).

5.1.4 Tipos de cubiertas verdes

5.1.4.a Techo verde autorregulado. Este techo es capaz de proporcionar las condiciones mínimas biológicas y técnicas que necesita una cobertura vegetal para sobrevivir. Se busca que se obtenga la mínima inversión económica, de materiales y mínimo de peso. Es un suelo que no está hecho para la transitabilidad de personas, salvo en casos de cuidado y limpieza para que no existan elementos agregados que aumenten peso a la cubierta. Además, este sistema debe ser capaz de utilizar el agua suministrado por las lluvias en vez de que exista un riego manual, así como un seguimiento post instalación de grado 1 mínimo, es decir, bajo. Por otro lado, los espacios del medio deben ser entre 20 y 120mm, dependiendo de las necesidades de las raíces y las plantas deben estar adaptadas a suelos de bajo contenido orgánico (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2017).

5.1.4.b Techos verdes ajardinados. Este tipo de techo crea un espacio puesto para el tránsito y que aumenta el paisaje como lugar recreativo o de observación. Es por esto que el tipo de especies que se incluyen son las que tienen valor ornamental y sin restricciones de tamaño. Sin embargo, se necesita un espesor de medio de crecimiento más grande por el tipo de vegetación, como también, riego y cuidado externo para poder mantenerse. El espesor del medio de crecimiento varía entre 120 y 1500mm puede contener especies herbáceas, pastos, arbustos y árboles y su seguimiento post instalación es grado 2 en donde hay poda, irrigación, inspección, limpieza y deshierbe (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2017).

5.1.4.c Techos verdes ecológicos especializados. El propósito es replicar y mantener sobre la cubierta un paisaje que este altamente especializado para conectarse con elementos de la estructura ecológica principal y de esta forma conectarse con la flora y la fauna local. La altura máxima de la vegetación es de 200 cm y debe tener un peso máximo de 450 Kg en estado saturado. Además, el seguimiento post instalación es de grado 3 para el acondicionamiento esporádico y monitoreo especial (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2017). Sin embargo, si se quiere instalar debe tener un aval por el Jardín Botánico y/o la Secretaría Distrital de Ambiente.

5.1.4.d Techos huerta. El propósito principal es la producción agrícola sobre la cubierta verde, por esto, debe contar con áreas de plantación y áreas de circulación que permitan la siembra y la recolección. Además, requiere mayores exigencias de estanqueidad y protección mecánica porque se está más expuesta al desgaste, como también, un sistema de riego que garantice el crecimiento del cultivo. Generalmente se implementa la hidroponía y se realiza siembra en contenedores, bandejas u otros elementos que facilitan la manipulación y evitan que se dañe la capa de impermeabilización. Al igual que el escenario anterior esta propuesta debe estar abalada por el Jardín Botánico de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2017).

5.1.5 Calificación secundaria

Esta hace referencia al grado de robustez o peso total del techo verde como se muestra en la siguiente gráfica extraída de la Guía para Techos Verdes de la Secretaría de Ambiente en el 2014.

Tabla 1.

Características de techos verdes por clasificación secundaria.

	Clasificación primaria	Clasificación secundaria		
		Liviano	Moderado	Robusto
Altura máxima	Autorregulado	20 cm	50 cm	50 cm
Peso total		80 kg/m ²	80-120 kg/m ²	150 kg/m ²
Altura máxima	Ajardinado	50 cm	200 cm	No límite
Peso total		150 kg/m ²	150-200 kg/m ²	No límite
Altura máxima	Especial	50 cm	150 cm	200 cm
Peso total		200 kg/m ²	200-300 kg/m ²	300-450 kg/m ²
Altura máxima	Huerta	50 cm	100 cm	150 cm
Peso total		150 kg/m ²	250 kg/m ²	250-350 /m ²

Nota. Esta tabla muestra las medidas máximas en cuanto altura en clasificación secundaria para cada uno de los niveles de clasificación primaria.

5.1.6 Vegetación y sustrato

5.1.6.a Tipos de vegetación que se puede implementar en un techo verde (Chinchilla, 2009)

- Suculentas

Se caracterizan por retener agua en sus tallos, hojas o raíces; lo que les permite aguantar tiempos de sequía al igual que no deben ser regadas periódicamente. Lo que las hace una especie ideal para una cobertura verde en lugares con poca disponibilidad de agua.

- Herbáceas perennifolias

Se caracterizan por no formar tejido leñoso permanentemente. En regiones de clima fresco crecen y florecen generalmente en la estación cálida del año y el follaje muere cada invierno. El nuevo

crecimiento se da a partir de su tejido fino o rizoma más que de las semillas y cuentan con una esperanza de vida notablemente larga.

- Vivaces

Se caracterizan por tener una vida muy larga, no requieren cuidados especiales, aunque en el primer año se deben regar con frecuencia y suelen crecer en cualquier tipo de terreno o clima. Estas suelen durar más de 2 años por lo que renacen más de una vez y usualmente es anual. Sin embargo, al siempre estar en crecimiento debe haber una poda del material sobrante.

- Arbustivas

Se caracterizan por ser de tipo leñoso, donde sus tallos/ramas son duras y lignificadas. No cuentan con una estructura central como un tallo de gran tamaño, sino que se soporta en sus raíces y ramificaciones que crecen a ras del suelo. Además, cuentan con una gran adaptabilidad y resistencia a los cambios del clima.

- Árboles

Se caracteriza por tener un tallo principal erguido leñoso, y son plantas que en su madurez alcanzan mayor altura. Las alturas varían dependiendo de la especie y de la edad de la planta, se estima que los arboles mas pequeños pueden medir en la madures 4.5 m de altura y 15 cm de perímetro de tronco. En cambio, las especies mas grandes superan los 110 m de altura y 6 m de diámetro de tronco.

5.1.6.b Sustrato. El sustrato es una de las estructuras en mayor porcentaje de las coberturas verdes, y cuenta con unas características especiales para que la vegetación sea viable. Por esta razón, se debe utilizar un sustrato que químicamente tenga bajo contenido de sales y un pH levemente ácido, además, debe contar con características físicas que lo hagan tener un buen drenaje, ser liviano y debe contar con poca materia orgánica. Por otro lado, no es recomendable usar tierra (suelo) como sustrato ya que cuenta con baja permeabilidad, alta retención de agua, un peso elevado y la lixiviación podría causar interferencias en los desagües, lo cual no contribuye al desarrollo de un sistema sustentable. Al contrario de un sustrato rico en nutrientes que puedes estar disponibles para

las plantas en forma controlada, por eso, se recomienda que la composición sea de un 80% materiales inorgánicos como; piedra pómez, zeolita, vermiculita y perlita; mezclado con un 20% de materiales orgánicos como turba o compost. Con este porcentaje de composición se asegura que haya un buen drenaje, que la profundidad no varíe, que se mantenga estable a través de los años y que cuente con un manejo nutricional adecuado (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Por otro lado, se debe hacer un estudio del espesor del sustrato el cual varía dependiendo del propósito de la cobertura verde y del tipo de vegetación. Como se muestra en la Figura 3 a mayor nivel de complejidad de la capa vegetal mayor la cantidad de sustrato debido a características estructurales y de disposición de nutrientes necesarios de los 5 tipos de vegetación mencionados anteriormente.

Figura 3.

Grosor de sustrato.



Nota. La figura muestra los diferentes grosores de sustrato dependiendo de la vegetación que se elija. Tomada de Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). 'Guía para techos verdes y jardines verticales', de página web: <https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/Gu%C3%ADa+Tecnica+Infraestructura+Vegetada+2021.pdf/077e3693-e9ff-4f8f-b506-9effa7b57494>

5.1.7 Impermeabilizantes

5.1.7.a Sistema de doble impermeabilización de membrana. Compuesta de Polietileno de alta densidad (HDPE) y Bentonita. Este es el más recomendado por su sistema dual y requiere ser confinado con un peso constante de mínimo 140 kg/m² (TOXEMENT, 2018).

5.1.7.b Membrana blanca termoplástica reforzada y membrana impermeable poliuretano. Se compone de una aleación elastómera de 3 polímeros con lanilla de poliéster no tejido. Por otro lado, la impermeable es de curado rápido y puede ser aplicada sobre concreto verde o húmedo. Este es un sistema de alto desempeño ya que la membrana es de alta elongación y resistencia, así como el adhesivo es un impermeabilizante elastómero con lo que se puede dar la doble impermeabilización y la protección anti-raíz (TOXEMENT, 2018).

5.1.7.c Membrana de PVC. Viene reforzada con fibra de vidrio para impermeabilizar áreas expuestas a la intemperie. Además, cuenta con alta elongación, durabilidad y resistencia a la perforación de raíces (TOXEMENT, 2018).

5.1.7.d Membranas de asfalto y polímero. Ideal para impermeabilizar zonas expuestas a la intemperie lo que crea una capa monolítica que aísla la humedad, llena las fisuras y por su alta adherencia se puede unir con la membrana de polímero (TOXEMENT, 2018).

5.1.8 Funciones básicas del sistema

Tabla 2.

Funciones básicas del sistema de techos verdes.

Función/ requerimientos	Propósito	Aspectos clave	Requisitos	Propiedades y unidades
Estanqueidad	Impedir penetración del agua a la estructura de soporte y evitar filtraciones o deterioro por humedad.	Resistencia de la impermeabilización -Protección ante el daño mecánico (raíces) -Protección ante el daño por la irradiación solar	-Garantizar mínimo 3 años sobre la calidad de la instalación -Garantía de 10 años de los materiales -Certificado de resistencia UV para impermeabilizantes	Espesor (mm), densidad (kg/m ²), resistencia a la tracción (N/m ²), porcentaje de elongación antes de rotura (%), resistencia al punzonamiento (lb), resistencia a penetración de raíces, resistencia a microorganismos, resistencia a variaciones de temperatura

Tabla 3. (Continuación).

Función/ requerimientos	Propósito	Aspectos clave	Requisitos	Propiedades y unidades
Drenaje	Permitir flujo de agua lluvia o riego a través del sistema y conducción/ evacuación por medio de bajantes, sumideros o canaletas.	<ul style="list-style-type: none"> -Permeabilidad de componentes activos -Volumen de aire -Capacidad de drenaje -Sistema de recolección y evacuación de agua -Drenaje vertical -Drenaje horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> -Diseño, cálculo de ubicación y distribución de bajantes y canaletas -Diseño y cálculo de pendientes - No se debe tener estancamiento de agua 	Porcentaje volumen de vacío (%), capacidad de drenaje efectiva del medio de drenaje y cobertura vegetal ($l/m^2/seg$), porcentaje máximo de limos y arcillas, distribución granulométrica (mm), coeficiente de caudal (K_v)
Retención de agua	Captar y almacenar el agua necesaria en el sistema	-Capacidad de retención de agua de componentes activos y de los estables	Se sugiere que capacidad de retención sea de 30-60% del volumen de sustrato en compactación. Los que superen el porcentaje deben incluir un mecanismo de retención de agua artificial.	Capacidad retención agua sustrato(l/m^2), capacidad de retención agua del sistema (%), peso del sistema en estado de saturación (kg/m^2)
Consistencia	Garantizar la estabilidad formal y dimensional del techo verde y sus componentes cuidando el deterioro por la humedad.	<ul style="list-style-type: none"> -Resistencia mecánica de componentes estables ante esfuerzos -Consistencia del medio de crecimiento -Unión y fijación de componentes y piezas. 	Resistencia a fuerzas de compresión dependiendo del tipo de la cubierta.	Resistencia a compresión (kg/cm^2), resistencia al esfuerzo de corte, resistencia al esfuerzo de flexión, resistencia al punzonamiento, resistencia a la tensión, resistencia al rasgado, elongación (%)

Tabla 4. (Continuación).

Función/ requerimientos	Propósito	Aspectos clave	Requisitos	Propiedades y unidades
Nutrición	Proporcionar equilibrio fisicoquímico y nutrientes requeridos para mantener la cobertura vegetal viva y sana.	-pH de medio crecimiento -Conductividad eléctrica -Contenido de nutrientes -Contenido de materia orgánica -Contenido de aire	-Diseño de mezcla de sustrato propuesto -Ensayo de curva granulométrica	Contenido materia orgánica (%), Contenido aire (%), conductividad eléctrica, contenido nutrientes, contenido de finos (arcillas), contenido elementos extraños, tamaño máximo de partículas
Filtración	Permitir el paso de agua a través del sistema restringiendo el paso de partículas finas.	-Retención partículas finas -Filtración mecánica efectiva -Permeabilidad al agua	-Continuidad de función filtrante -Filtración partículas menores a 2mm de diámetro -Permeabilidad de 2-1s -Tamaño apertura 0.25 mm -Resistencia química a microorganismos	Peso(g/m), apertura efectiva (mm), resistencia a la tracción (kN/m ²), resistencia a la penetración (N)

Nota. La función cuenta con 6 parámetros que se encuentra enumerados en la primera columna de la tabla. Primero, el propósito, describe el desempeño que debe lograr el techo verde con relación a la función. Segundo, los aspectos claves, resaltan factores determinantes para el cumplimiento de la función. Tercero, los requisitos, son las prácticas requeridas que se deben cumplir y garantizar independientemente de la tecnología a emplear. Cuarto, las propiedades y unidades, son aquellas que se toman en cuenta para diseño, cálculos o planeación del techo verde. Tomado de Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). 'Guía para techos verdes y jardines verticales', de página web: <https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/Gu%C3%ADa+Tecnica+Infraestructura+Vegetada+2021.pdf/077e3693-e9ff-4f8f-b506-9effa7b57494>

5.1.9 Aspectos técnicos

5.1.9.a Condiciones a nivel climatológico. Se deben tener en cuenta las características del clima en Bogotá relacionadas con el sol (irradiación) y precipitaciones. Los factores varían de acuerdo con la ubicación geográfica, orientación y altura de la edificación. Se deben tener presentes el viento, la lluvia y humedad y la orientación y radiación del sol (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

5.1.9.b Estructura de la edificación o proyecto. Se debe conocer la capacidad de carga de la edificación y también se debe hacer un estudio de los materiales y el estado de la estructura existente para calcular cual es el peso que podría soportar y si es necesario que se haga un refuerzo a la estructura antes de montar la cobertura verde. Para esto, es necesario tener presente la carga muerta de la cubierta y la carga viva (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

5.1.9.c Impermeabilización. Este es uno de los factores más importantes para el éxito de la cobertura verde, ya que, evitara goteras y que existan gastos adicionales por humedad en la edificación. En este caso, se debe tener en cuenta la resistencia a la penetración de raíces y diseñar una pendiente adecuada que permita drenar el agua (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

5.1.9.d Aislamiento acústico y térmico. Es importante que haya un refuerzo en la superficie que ayude a mitigar el aislamiento en la edificación. Se debe tener en cuenta la trasmisión de impactos o golpes y el aislamiento térmico según las características constructiva y climáticas de la zona (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

5.1.10 Mantenimiento

Es necesario que exista un buen mantenimiento para asegurar la vida útil del proyecto y se debe llevar a cabo por profesionales especializados.

5.1.10.a Elementos constructivos . Como los muros y límites perimetrales del techo, pavimentos, elementos arquitectónicos, impermeabilización. Se le debe hacer una inspección técnica visual, revisión de fijaciones, detección de posibles puntos conflictivos y conservación en un estado de

todos los elementos de obra, finalmente, impermeabilización y arreglo si lo requiere (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Frecuencia: Dos a tres veces al año.

5.1.10.b Instalaciones. Como los desagües, red de riego, iluminación, instalaciones diversas (antenas, equipos de medición y ventilación). Se le debe realizar una inspección técnica visual; control y limpieza de alcantarillas y desagües, canales y sistemas de ventilación; inspección, regulación y limpieza de las instalaciones de riego; control y revisión de instalaciones de luz y otras (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Frecuencia: Cada tres meses.

5.1.10.c Mobiliario y elementos auxiliares. Como toldos, barreras, caminos, entre otros. Se les debe hacer una revisión de fijaciones o anclajes, inspección técnica visual y limpieza (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Frecuencia: Una o dos veces al año.

5.1.10.d Vegetación. Como suculentas, herbáceas, vivaces, arbustivas o arbóreas. Se les debe hacer recortes, podas, eliminación de malas hierbas, reposición o resiembra, fertilización y control de afecciones (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Frecuencia: Según la vegetación (debe estudiarse para cada proyecto)

5.1.10.e Cubierta. Se le debe hacer tareas de limpieza general (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Frecuencia: semanal o a conveniencia.

5.2 Marco legal

En el país existen los siguientes documentos sobre los techos verdes.

5.2.1 Resolución 6423 de 2011

El cual Adopta la Guía Técnica de Techos Verdes, como una herramienta, que establecerá los requerimientos técnicos y practicas recomendadas para la correcta aplicación de tecnologías de techos verdes en Bogotá D.C. Establece igualmente que la asesoría y el soporte técnico que se refiere el artículo 3° del Acuerdo Distrital 418 de 2009, estará a cargo de la Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial y la Subdirección de Ecosistemas y Ruralidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, en coordinación con el Jardín Botánico José Celestino Mutis.

5.2.2 Resolución 1570 de 2014

Por la cual se modifica parcialmente la resolución 6423 de 2011, en donde solo se modifica el Artículo primero: Adóptese la guía de *Techos verdes y jardines verticales- guía práctica para Bogotá*, como un instrumento de unificación de criterios técnicos y practicas recomendadas para la correcta aplicación de tecnologías de techos verdes en Bogotá D.C. Incluyendo los jardines verticales y la guía actualizada.

5.2.3 Acuerdo 418 de 2009 del Concejo de Bogotá

“La Administración Distrital promoverá el urbanismo sostenible mediante el conocimiento, divulgación e implementación progresiva y adecuada de techos, terrazas verdes entre otras tecnologías, en los proyectos inmobiliarios públicos de carácter Distrital y privados nuevos o existentes de la Ciudad, como medida de adaptación y mitigación al cambio climático” (Consejo de Bogotá, 2009) .

Así como en la Resolución 6423 se establece la Guía Técnica de Techos Verdes como herramienta para conocer los requerimientos técnicos y practicas recomendadas para la correcta aplicación de

tecnologías de techos verdes en Bogotá D.C. Como también menciona que si se necesita existe una asesoría y soporte técnico que estará a cargo de la Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial y la Subdirección de Ecosistemas y Ruralidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, en coordinación con el Jardín Botánico José Celestino Mutis.

5.2.3 Decreto 566 de 2014 de la Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.

Por la cual se adopta la "Política Pública de Ecurbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá Distrito Capital, 2014 - 2024", en el marco de la construcción de un territorio resiliente que se adapta y mitiga el cambio climático que se aplicará en el territorio urbano y rural de Bogotá, Distrito Capital. Además, la política se fundamenta en el Objetivo de Desarrollo del Milenio de la ONU No. 7 "Garantizar la Sostenibilidad del Medio Ambiente" "Incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y reducir la pérdida de recursos del medio ambiente". Sin embargo, la Secretaría Distrital de Planeación con el apoyo de las Secretarías Distritales de Ambiente y de Hábitat liderará la implementación de la Política.

6.DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Procedimiento

La investigación se realizó para el techo del edificio administrativo localizado en la Universidad de América sede Ecocampus. Para esto se hizo uso de la investigación encontrada en las siguientes fuentes: la guía para techos verdes (Secretaría Distrital de Ambiente y Alcaldía Mayor de Bogotá), la guía básica para la instalación de techos verdes (Toxement), techos verdes para rescatar la ciudad (Avella) y el artículo *Architecture in the Scandinavian Countries* (Donnelly, 1962).

De esta manera, como primera fase, se realizó una investigación bibliográfica donde se presenta una propuesta de los requerimientos necesarios para la construcción de un techo verde. Asimismo, se encontraron las posibles especies vegetales que se puedan plantar, y también, se identificaron las condiciones mínimas que debe contar el espacio donde se planea realizar el techo verde previo a su construcción. Finalmente, se investigaron las ventajas y alternativas de tener un techo verde en la ciudad y encontrar si la finalidad va a ser una huerta o si solo va a ser vegetación.

Como segunda fase, se hizo una visita presencial al sitio de estudio en la Universidad de América sede Ecocampus del edificio administrativo para hacer una revisión de las condiciones de la infraestructura y de esta manera contar con una visión de su estado actual donde se tenga una imagen que evidencie las características en las que se encuentra la edificación y lograr así tener un punto de partida en la investigación.

7.DESARROLLO

7.1Estado actual

7.1.1Edificio Administrativo

Actualmente las instalaciones del Ecocampus se encuentran en desmonte y construcción, en especial el edificio administrativo en donde está prohibido el ingreso por motivos de seguridad y salud. En especial, uno de los techos propuestos para iniciar la investigación, el techo de la biblioteca fue desmantelado y se encuentra en planes de construcción para la obra en marcha. Es por esto, que una visita al sitio donde se planea instalar los techos verdes no es posible. Sin embargo, se plantea que como primera instancia a la hora de hacer la instalación se debe hacer una visita preliminar para mirar las condiciones del techo en donde se propone inicie el proyecto.

7.1.2Imágenes del lugar

En la figura 4 se presenta una aproximación del sitio donde es posible la construcción de la cobertura verde, sin embargo, se cataloga como tal ya que se desconocen las condiciones actuales de la edificación debido a que esta en construcción y no es permitido fotografiar las instalaciones. Sin embargo, la Figura 5, muestra desde un ángulo al que se puede tener acceso el techo donde se propone la implementación, y es necesario revisar el lugar una vez se cuente con la propuesta completa para hacer lo siguiente:

- Revisar características de infraestructura
- Revisar si el techo esta disponible
- Identificar las vías de acceso al techo
- Revisar el material impermeabilizante del techo y su estado actual
- Identificar si hay desagües y/o estructuras existentes

Figura 4.

Edificio administrativo Ecocampus.



Nota. La figura muestra la edificación en donde se propone sea construido el techo verde. Tomado de: Google Earth, Universidad de América Ecocampus.

Figura 5.

Techo de edificio administrativo Ecocampus.



Nota. La figura muestra la edificación en donde se propone sea construido el techo verde. Tomado de: Google Earth, Universidad de América Ecocampus.

7.2 Etapas del proceso – Ciclo de vida

7.2.1 Planeación

Como primera instancia, se debe hacer un estudio del lugar, para visualizar el sitio de instalación y sus características, además, de proponer los posibles diseños del tipo adecuado de sistema de techo verde que será implementado en la universidad que garanticen los requerimientos mínimos.

Por lo tanto, se deben hacer mediciones métricas del espacio, recopilación de información meteorológica, especificaciones del sistema seleccionado e información de la planimetría del lugar donde se va a llevar a cabo la instalación. Adicionalmente, se debe levantar información climatológica para conocer las condiciones ambientales presentes, con el fin de tener una planeación preliminar que garantice la compatibilidad del sistema con la edificación, el propósito del sistema y condiciones climatológicas y medioambientales en el sitio de instalación (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Es necesario hacer los siguientes estudios/diseños:

- Diseño arquitectónico
- Diseño estructural
- Diseño hidrosanitario
- Selección de especies vegetales y sustrato
- Estudio ambiental, que conlleva diseño bioclimático, de aire y paisajístico.

7.2.2 Preparativos

Se recomienda que exista un grupo interdisciplinario conformado por arquitecto, ingeniero civil y/o ambiental, biólogo o ecólogo que revisen los documentos de los planos y especificaciones técnicas. Luego de una detallada planeación, se debe adquirir todas las materias primas necesarias como las plantas, el material impermeabilizante, el sustrato, los materiales de construcción, entre otros (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

7.2.3 Instalación

Se debe cumplir con el siguiente orden (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021):

1. Instalación de impermeabilización y barrera anti-raíz
2. Elementos auxiliares y protección de desagües
3. Medios de drenaje
4. Barreras filtrantes
5. Medios de crecimiento y sustrato
6. Cobertura vegetal
7. Seguridad industrial y salud ocupacional

7.2.4 Mantenimiento

Ver sección 7.1.10 del presente documento.

7.2.5 Desmante

Es importante que se haga un desmantelamiento componente por componente y su debida disposición o aprovechamiento de los materiales que se puedan reciclar. Por el contrario, los materiales no aprovechables deben tener un manejo adecuado de RCD (residuos de demolición y construcción), asimismo, se aconseja seguir los lineamientos estipulados por el decreto 586 de 2015 emitido por (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015) para gestionar estos materiales de manera sostenible y eficiente (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

8..RESULTADOS

Utilizando la investigación realizada en el presente trabajo, se encuentra que para la construcción de la cobertura verde se recomienda utilizar un techo verde autorregulado, ya que por sus características lo hace económico, de fácil construcción y poco exigente a la hora de mantenerlo. Se propone que sea de tipo moderado con una altura de vegetación de máximo 50 cm y un peso de 100 kg/m². Adicionalmente, se considera que la vegetación más apropiada para las condiciones es Herbácea perennifolia y herbácea aromática para que cumpla una función doble propósito de huerta jardín. Según la ficha técnica de la Secretaría de Ambiente – Catalogo de especies vegetales de 202 las especies apropiadas para los techos verdes en Bogotá pueden ser: Anturio rojo, Taco de Reina (Capuchina), Clavellina, Piel de serpiente (Fitonia), las cuales son herbáceas perennes y la altura no supera los 30 cm, como también, las herbáceas aromáticas como romero, albahaca, menta, yerbabuena, que se puedan cosechar y utilizar dentro de la cafetería de la universidad. De esta manera, se encontró que el sustrato debe ser químicamente bajo en contenido de sales y con un pH levemente ácido, asimismo, contar con materiales de características que favorezcan el drenaje y permeabilidad, en donde el contenido debe ser de un 80% de material inorgánico como; piedra pómez, zeolita, vermiculita y perlita; y el 20% restante material orgánico cargado de nutrientes que serán destinados a la vegetación como turba y compost.

Por otro lado, para el material impermeabilizante se seleccionó la membrana blanca termoplástica reforzada y membrana impermeable poliuretano por sus propiedades de elongación, de curado rápido, su capacidad de impermeabilización y protección anti-raíz. A su vez, deberá contar con las funciones básicas de estanqueidad, drenaje, retención de agua, consistencia, nutrición y filtración, y realizar estudios de aspectos técnicos como las condiciones de la infraestructura y estado de la construcción, de las condiciones climatológicas de la zona, estudio hidrológico de la cobertura y propuesta de diseño de instalación. Todo lo anterior siguiendo la normatividad colombiana y las propuestas de la Guía para construcción de techos verdes de la Alcandía de Bogotá.

Y de esta manera, poner en uso y lograr aprovechar un espacio disponible con la finalidad de devolver la vegetación a la construcción. De igual forma iniciar un proyecto viable en donde exista un propósito de bienestar y cuidado. Más aun, se busca aprovechar las ventajas y beneficios tanto

ambientales, sociales como económicos que las coberturas verdes brindan. Cumpliendo un rol importante dentro de la sociedad y las ciudades, apoyando el medio ambiente.

Es por esto que, analizando todas las variables y diferentes alternativas expuestas en el presente documento, se determina que es posible hacer la construcción de un techo verde en el edificio administrativo localizado en el Ecocampus de la Universidad de América, toda vez que se haya finalizado la construcción y remodelación del mismo, para obtener el lugar ideal de instalación y uso de una cobertura verde.

9.CONCLUSIONES

- La preocupación por cuidar del medio ambiente para mejorar la calidad de vida humana ha venido creciendo y adaptándose a nuestra sociedad cada vez más. Es por esto que se adoptan tecnologías como la de las coberturas verdes, las cuales devuelven condiciones naturales a las construcciones actuales llenándolas de vida y atrayendo beneficios como el ahorro de energía, agua y suelo. Lo que lo convierte en una necesidad para las edificaciones que logra subsanar el deterioro ambiental causado.
- Las coberturas verdes son un sistema viable y requiere de poco mantenimiento si se hace el adecuado diseño y estudio preliminar. Dando cuenta que es un sistema sostenible y multipropósito para las zonas sin uso o propósito.
- De esta manera, entre menor complejidad del sistema menor es su costo y menor es el tiempo que se le debe invertir a la adecuación y mantenimiento. Por eso, la propuesta de vegetación que se plantea es de Herbácea perennifolia y Herbácea aromática, el cual cumple la función de jardín.
- La función optima que se encontró para la cobertura es que sea un techo verde autorregulado con vegetación de máximo 50 cm y peso de 100 kg/m².
- Se sugiere que para el sustrato el porcentaje sea 80% material inorgánico y 20% material orgánico.
- Asimismo, se encontró que el material impermeabilizante más apropiado es la membrana blanca termoplástica reforzada y membrana impermeable poliuretano.
- Las ventajas de una cobertura verde son el aislamiento térmico, la reducción de isla de calor, el control de aguas lluvias, el mejoramiento en la calidad del aire, la regulación de humedad, la reducción del ruido y el aumento del bienestar en la población universitaria.
- Es posible la construcción de un techo verde en el Ecocampus de la Universidad de América, sin embargo, siempre y cuando se cumplan con las propuestas descritas de la mano con la guía de techos verdes de la Alcandía de Bogotá.

10.RECOMENDACIONES

- Es indispensable realizar una visita preliminar cuando finalice la construcción del edificio administrativo para analizar el estado del techo en donde se plantea instalar la cobertura. Debido que al momento de realizar el presente documento no era viable una visita al lugar.
- Antes de realizar la instalación del techo verde es necesario realizar todos los estudios preliminares de condiciones de la infraestructura y estado de la construcción, de las condiciones climatológicas de la zona, el estudio hidrológico de la cobertura y propuesta de diseño de instalación.
- Es recomendable que se tenga comparta la información de la construcción con la secretaria de ambiente y el jardín botánico para que exista un censo de las coberturas verdes construidas en Bogotá. Además, que con esto se ve a la Universidad como un modelo de construcción sostenible en la ciudad.
- Es necesario trabajar con personas de diferentes disciplinas, que no son excluyentes a; ingeniería, biología, ecología, arquitectura, entre otras; con el fin de validar las decisiones técnicas tomadas para cumplir con los propósitos planteados para el techo verde.
- Además de la construcción de un techo verde se propone investigar sobre la posibilidad de construir paredes verdes ya que complementan el propósito principal de devolver la naturaleza al asfalto y de esta manera armonizar y ambientalizar los espacios del Ecocampus.
- Se recomienda que se adopte la presente investigación como guía para futuros proyectos de construcción verde y sostenible en la Universidad de América.

BIBLIOGRAFÍA

- Avella, E. (2016). Techos verdes para rescatar la ciudad. El Espectador.
<https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/mineria-y-tala-acabaron-120900-hectareas-de-bosque-articulo-522774>.
- Álvarez Álvarez, D. (2007). El jardín en la arquitectura del siglo XX: Naturaleza artificial en la cultura moderna. Barcelona. Reverté, Barcelona.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). Catálogo de especies vegetales. Ministerio de Ambiente.
<https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/CATALOGO+DE+ESPECIES+VEGETALES+2021.pdf/1ff84016-3884-4ab9-a9d9-879e4e7a7ce7>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). Guía para techos verdes y jardines verticales. Ministerio de Ambiente.
<https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/Gu%C3%ADa+Tecnica+Infraestructura+Vegetada+2021.pdf/077e3693-e9ff-4f8f-b506-9effa7b57494>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2017). Boletín PIGA distrital N° 5, techos verdes. Secretaría Distrital de Ambiente.
<https://oab2.ambientebogota.gov.co/documents/10184/818975/Boletin+5%C2%B0+-+Techos+verdes.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe –CEPAL- (2020). Daño y pérdida de biodiversidad. Naciones Unidas. <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>
- Don Nelly, Marian (1992). Architecture in the Scandinavian Countries. The MIT Press, Cambridge, MA.
- García, C. (2020). Implementación de un techo verde para la reducción de temperatura al interior de una vivienda en el municipio de Villavicencio, meta. (Trabajo de grado.) Universidad

- Santo Tomas. Repositorio institucional.
<https://repository.usta.edu.co/jspui/bitstream/11634/30258/9/2020carlosgarcia.pdf>
- Ibáñez, R. (2008). Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. Alarife: *Revista de arquitectura*, 61, p. 21- 36.
- Kepler, M., Poll, P.H., (2010). Long-term performance of selected old Berlin green-roofs in comparison to younger extensive green roofs in Berlin. *Ecol. Eng.* 36, p. 722-729.
- Liu, K.; Minor, J. (2005). Performance evaluation of an extensive green roof. National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction Toronto. <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=e10a2c46-5c45-4a9e-8625-d7b0ea46e847>
- Magill, J. D.; Midden, K.; Groninger, J. & Therrell, M., (2011). A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research. Research Papers. Paper 91. <http://opensiuc.lib.siu.edu/gsrp/91>
- Mosquera, J. (2018). Diseño de modelo para techos verdes en dirección a la compensación de dióxido de carbono (co2), generado por los vehículos particulares que visitan la zona rosa de bogotá d.c. (Trabajo de grado.) Universidad Libre de Colombia. Repositorio institucional. <https://cutt.ly/IHbVZ6x>
- Marchena, D. (2012). Techos verdes como sistemas urbanos de drenaje sostenible. (Trabajo de grado.) Pontificia Universidad Javeriana. Repositorio institucional.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11131/MarchenaAvilaDianaCecilia2012.pdf?sequence=1>
- Minke, G. (2004). Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo, Uruguay: Fin de Siglo.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). Guía para Techos Verdes.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=28242&cadena=u>

Secretaría de Ambiente. (2014). Techos verdes y jardines verticales, una piel natural para

Bogotá. https://issuu.com/ambientebogota/docs/guia_de_techos_verdes_y_jardines_ve

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (2022). Premios Verdes de Iberoamérica 2022 para un risaraldense. Noticias SENA. <https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=5681>

Toxement. (2018). Guía básica para la instalación de techo vegetal.

https://www.toxement.com.co/media/3510/spec_techos_vegetales.pdf

Wolverton, B. (1989). Interior Landscape Plants For Indoor Air Pollution Abatement. Science and technology laboratory. p.12. <http://maison-orion.com/media/1837156-NASA-Indoor-Plants.pdf>

Zielinski, S; García, M; Vega, J. (2012). Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta. Gestión y Ambiente, 15, (01), p. 91-104. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169424101008.pdf>