

**TECHOS VERDES EN EDIFICACIONES DE USO COMERCIAL EN CLIMAS  
TROPICALES Y SU IMPACTO EN EL CONSUMO ENERGÉTICO**

**IVÁN CAMILO CONTRERAS GELVES  
KEVIN MANUEL SANTOS TRISTANCHO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2021**

**TECHOS VERDES EN EDIFICACIONES DE USO COMERCIAL EN CLIMAS  
TROPICALES Y SU IMPACTO EN EL CONSUMO ENERGÉTICO**

**IVÁN CAMILO CONTRERAS GELVES  
KEVIN MANUELSANTOS TRISTANCHO**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR DEL PROYECTO  
ING. MARGARETH VIECCO MARQUEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2021**

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
1.1.	Delimitación del Problema .....	10
1.2.	Objetivos.....	12
1.2.1.	Objetivo General.....	12
1.2.2.	Objetivo Específicos.....	12
2.	ANTECEDENTES .....	13
3.	MARCO TEÓRICO .....	18
3.1.	Estructura de los techos verdes .....	19
3.2.	Tipos de techos verdes .....	19
3.2.1.	Techos verdes extensivas.....	19
3.2.2.	Techos intensivas verdes .....	20
3.2.3.	Techos semi-intensivos verdes. ....	21
3.3.	Beneficios medio ambientales .....	21
3.3.1.	Reducción de la temperatura ambiente.....	22
3.3.2.	Mejora el drenaje de aguas lluvias .....	22
3.3.3.	Aumento de la durabilidad de la cubierta.....	23
3.3.4.	Aumenta la biodiversidad.....	23
3.4.	Consumo de Energía en Edificaciones .....	24
3.5.	Modelación Energía Térmica.....	25
3.5.1.	Cálculos y Simulación Energy Plus .....	26
3.5.2.	Cálculos de Diseño de Calefacción .....	26
3.5.3.	Cálculos de Diseño de Refrigeración .....	27
3.5.4.	Simulaciones.....	28
4.	METODOLOGÍA.....	29
4.1.	Plan de Trabajo .....	29
4.1.1.	Selección de la Edificación.....	29
4.1.2.	Modelación en Design Builder .....	29
4.1.3.	Análisis de Resultados.....	30
4.1.4.	Diagrama de Flujo .....	30
4.2.	Localización.....	32

4.3.	Condiciones Climáticas .....	32
4.4.	Edificio Base .....	35
4.5.	Materialidad .....	36
4.6.	Cargas Internas .....	37
4.7.	Techo de la edificación .....	39
4.7.1.	Techo Verde .....	40
4.7.2.	Capa de suelo con un contenido de humedad del 9%.....	41
4.7.3.	XPS Expanded Polystyrene .....	42
4.7.4.	Cubierta Estructural .....	43
4.7.5.	Casos de Simulación.....	43
5.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	44
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un techo verde .....	19
Figura 2. Cubierta verde extensiva Tomada de Cubiertas Verdes .....	20
Figura 3. Cubiertas intensivas verdes .....	20
Figura 4. Sistema combinado intensiva-extensiva .....	21
Figura 6. Localización geográfica del supermercado .....	32
Figura 7. Temperaturas promedio .....	34
Figura 8. Humedad Relativa .....	34
Figura 9. Modelo de la edificación .....	35
Figura 10. Distribución interna del lugar y composición de las capas del muro .....	36
Figura 11. Modelo edificación con techo verde. Fuente .....	39
Figura 12. Capas, cubierta con techo verde. Fuente .....	40
Figura 13. Capas, cubierta convencional .....	40
Figura 14. Vegetación del techo verde, Zoysia Japónica .....	41
Figura 15. Sustrato de suelo en una estructura de techo verde .....	42
Figura 16. Poliestireno para techos verdes .....	42
Figura 17. Composición típica de un techo verde .....	43
Figura 18. Comparación gasto energético con y sin cubierta verde .....	45
Figura 19. Comparación gasto energético con y sin cubierta verde .....	46
Figura 20. Impacto estructura techo verde vs convencional .....	47
Figura 21. Comparación gasto energético con y sin cubierta verde, Bucaramanga .....	47
Figura 22. Comparación del gasto energético anual con y sin cubierta verde .....	49
Figura 23. Comparación ganancias solares con y sin cubierta verde .....	50
Figura 24. Comparación ganancias solares con y sin cubierta verde .....	50
Figura 25. Distribución de Cargas, Bogotá Sin Cubierta Verde .....	52
Figura 26. Distribución de Cargas, Cartagena Sin Cubierta Verde. Fuente .....	53
Figura 27. Distribución de Cargas, Bogotá Con Cubierta Verde. Fuente .....	53
Figura 28. Distribución de Cargas, Bucaramanga Sin Cubierta Verde .....	54
Figura 29. Distribución de Cargas, Cartagena Con Cubierta Verde .....	54
Figura 30. Distribución de Cargas, Bucaramanga Con Cubierta Verde .....	55

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Capas de las materialidades.....	36
Tabla 2. Propiedades de los materiales.....	37
Tabla 3. Calendarios de uso de equipos y ocupantes. ....	37
Tabla 4. Capas del techo verde.....	40
Tabla 5. Descripción Casos de Simulación .....	43
Tabla 6. Análisis económico del uso de techos verdes. Fuente. Elaboración Propia.....	51

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** Techos verdes en edificaciones de uso comercial en climas tropicales y su impacto en consumo energético

**AUTOR(ES):** Kevin Manuel Santos Trisancho  
Iván Camilo Contreras Gelves

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Margareth Viecco Márquez

### RESUMEN

Esta investigación se centró en evaluar el impacto de las cubiertas verdes en comparación a las cubiertas convencionales bajo las condiciones climáticas de las ciudades de Bogotá, Cartagena y Bucaramanga en edificaciones de uso comercial a través de simulaciones que dieron como resultado el consumo energético en el ámbito de climatización para cada uno de los casos planteados. Con base en los resultados se concluyó que hubo un mejor rendimiento o impacto de los techos verdes en la ciudad de Cartagena y Bucaramanga, con una reducción del gasto energético de 13,4% y 6,2% respectivamente, debido a que las condiciones climáticas del entorno son mas apropiadas para un impacto positivo de la cubierta verde y por consiguiente un menor consumo energético. En el caso de la ciudad de Bogotá se obtuvo un ligero aumento en el consumo energético en la simulación con techo verde, esto se debe al aislamiento generado por la cubierta con el ambiente frío exterior que da como resultado el incremento del calor al interior de la edificación y por consiguiente el aumento en gasto de sistemas de enfriamiento.

### PALABRAS CLAVE:

Contaminación, Consumo energético, Techos verdes, Climatización

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** Green roofs in buildings for commercial use in tropical climates and their impact on energy consumption

**AUTHOR(S):** Kevin Manuel Santos Trisancho  
Iván Camilo Contreras Gelves

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Margareth Viecco Márquez

### **ABSTRACT**

This research focused on evaluating the impact of green roofs compared to conventional roofs under the climatic conditions of the cities of Bogotá, Cartagena and Bucaramanga in buildings for commercial use through simulations that resulted in energy consumption in the area. of air conditioning for each of the cases raised. Based on the results, it was concluded that there was a better performance or impact of green roofs in the city of Cartagena and Bucaramanga, with a reduction in energy expenditure of 13.4% and 6.2% respectively, due to the weather conditions of the surroundings are more appropriate for a positive impact of the green roof and consequently a lower energy consumption. In the case of the city of Bogotá, a slight increase in energy consumption was obtained in the simulation with a green roof, this is due to the insulation generated by the roof with the cold outside environment that results in an increase in heat inside the room. building and consequently the increase in cost of cooling systems.

### **KEYWORDS:**

Pollution, Energy consumption, Green roofs, Air conditioning

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## **1. INTRODUCCIÓN**

La industrialización de procesos y automatización de tareas ha traído consigo mismo una inminente mejora en la calidad de vida de la sociedad, los índices de productividad, optimización de niveles de calidad, menores costos de producción y mayor seguridad en los procesos ha aumentado de una manera significativa, por estas razones los trabajadores actualmente gozan de jornadas de trabajo más productivas, cortas y de menor esfuerzo físico lo cual se traduce en una mejora de la esperanza de vida.

A pesar de que la industrialización ha sido imprescindible también ha generado diversas formas de contaminación además del gasto de recursos naturales que en ocasiones no son renovables, en consecuencia la demanda de energía ha aumentado de una manera progresiva a través de los años que ha motivado al desarrollo de nuevas tecnologías que mitiguen el uso de este recurso, por este motivo los techos verdes han surgido como alternativa viable para la reducción del consumo de energía en edificaciones dado que actúan como un aislante natural del calor que se traduce en la reducción de sistemas de enfriamiento.

El propósito de este trabajo de grado es comparar el comportamiento de los techos verdes bajo diferentes condiciones climáticas, con la finalidad de conocer el impacto generado de dichas cubiertas en comparación con las convencionales, además de identificar en qué condiciones climáticas presenta una mayor eficiencia, estos análisis llevados a cabo mediante simulaciones energéticas empleando el software el software Design Builder.

### ***1.1.Delimitación del Problema***

En la actualidad las grandes constructoras y gerentes inmobiliarios se han visto obligados a desarrollar proyectos donde los estándares de habitabilidad sean los más altos. Debido a esto adquieren sistemas de aire acondicionado de máxima tecnología y de la misma forma otros sistemas inteligentes que demandan un alto consumo de energía. Según la Agencia Internacional de Energía (EIA) se estima que alrededor del 30% y 40% de la energía producida a nivel global es consumida por edificaciones de cualquier tipo como residenciales, comerciales y públicas, además de ser responsables de aproximadamente el 30% del CO<sub>2</sub> contaminante producido anualmente a nivel mundial [1].

En los últimos años ha tomado más fuerza el fenómeno del cambio climático y qué medidas tomar para mitigarlo y amortiguar implicaciones como la reducción de la capa de ozono en las zonas polares, las olas de calor, la contaminación del aire y la reducción del oxígeno son uno de los tantos fenómenos que aquejan diariamente a cada individuo. Esto en su mayoría se debe a las practicas no sustentables que se realizan desde hace muchos años, como el derroche de energía, la deforestación, las industrias contaminantes y el malgasto de recursos no renovables [2].

En los últimos treinta años se vienen implementando medidas y tecnologías en el sector para reducir el impacto mediante nuevos modelos de construcción como el lean construction. También países pioneros en temas de sostenibilidad ambiental como Alemania y Canadá han desarrollado diversos sistemas sustentables que buscan reducir el efecto generado por la contaminación y el cambio climático. Uno de estos sistemas que con el tiempo ha ganado popularidad por su eficiencia es el de los techos verdes que básicamente se caracteriza por

purificar el aire, filtrar aquellos metales nocivos en el medio ambiente, reducir el efecto Isla Calor Urbana”, reducir el consumo energético de la edificación, entre otros [3]

En Colombia los recursos energéticos provienen en esencia de hidroeléctricas y termoeléctricas que funcionan a base de combustibles fósiles, emplean como combustible el gas natural, carbón, uranio y grandes volúmenes de agua dejando de un lado alternativas energéticas como la eólica que es totalmente limpia estando totalmente apartada de los combustibles fósiles [4]. Con todo lo mencionado anteriormente se puede hablar de la necesidad de evaluar el real impacto de los techos verdes en las edificaciones, ver el potencial de impacto que tiene esta tecnología en diversos climas colombianos, en este trabajo se tomaran como ciudades de estudio Bogotá, Bucaramanga y Cartagena y así en ellas evaluar la reducción del consumo de energía, las mejoras en confort térmico y la optimización de costos todas bajo la misma metodología de simulación en el software Design Builder.

## ***1.2.Objetivos***

### ***1.2.1. Objetivo General***

Evaluar el impacto del uso de techos verdes en una edificación de uso comercial, sobre el consumo energético del edificio emplazado en ciudades con clima tropical mediante simulaciones energéticas empleando el software Design Builder.

### ***1.2.2. Objetivo Específicos***

- Elaborar una comparación en términos del consumo energético mediante la utilización de una cubierta verde y una convencional para una edificación de tipo comercial.
- Realizar un diagnóstico de las cargas térmicas en una edificación de uso comercial, que tiene instalado un techo verde en su cubierta, ubicado en 3 ciudades tropicales, a través de un balance energético.
- Comparar los efectos generados por la implementación de un techo verde sobre cargas y consumo energético de un edificio de uso comercial, con un escenario base tradicional ubicado en 3 ciudades tropicales basados en los resultados obtenidos de las simulaciones en Design Builder.

## 2. ANTECEDENTES

Diferentes instituciones académicas alrededor del mundo han demostrado su interés hacia los techos verdes y sus beneficios, como aumentar la durabilidad de la cubierta, reducir el flujo de aguas lluvia aliviando la carga del sistema pluvial, entre otros, pero su principal función y objeto de estudio es su capacidad de reducir los consumos energéticos, estos se deben a la absorción del calor en su capa vegetal permitiendo un menor esfuerzo por los sistemas de enfriamiento de la edificación.

A continuación, se evidenciarán algunos estudios sobre la capacidad de los techos verdes de reducir la temperatura en diferentes espacios que geográficos, cada uno con sus propias condiciones climáticas y por consiguiente diferentes efectos del uso de techos verdes en comparación con la cubierta convencional.

Un estudio del College of Engineering and Built Environment, realizó una simulación de un edificio universitario de cuatro pisos ubicado en Rockhampton. Campus de la Universidad Central de Queensland Australia. Este edificio tiene un área con aire acondicionado de 4260  $m^2$ , una altura entre pisos de 4.2 metros, con losas de concreto de 130mm, paredes exteriores acristaladas (40%), los sistemas de iluminación utilizan lámparas fluorescentes dobles de 40 vatios. A esta edificación mediante el software Design Builder se evaluó perfiles de consumo de energía existentes variando diferentes elementos como: el sistema de volumen de aire variable (VAV) en lugar de sistema de volumen de aire constante (CAV), ventana de doble acristalamiento en lugar de la ventana de vidrio simple, Sistema de control de atenuación fotoeléctrico en lugar de iluminación general, obteniendo como resultado un ahorro anual de energía de hasta 29,4% reemplazando estos sistemas [5].

De igual forma la Universidad Politécnica de Madrid empleo Design Builder con el objetivo de evaluar las condiciones interiores de confort, optimizar el uso de energía y la sostenibilidad de las viviendas de interés social. Se modelaron dos tipos diferentes de edificios, una edificación con muros prefabricados en hormigón reforzado de 8 cm de espesor, entresijos en placas prefabricadas de hormigón reforzado de 10 cms, huecos acristalados con vidrios incoloro sencillo y al otro edificio se le incorporó algunas estrategias bioclimáticas como: protecciones del hueco acristalado, uso adecuado de colores en cubiertas, fachadas y suelos, uso de aislamiento térmico en muros, control de la ventilación natural, en ambos casos se analizaron los datos climáticos de Cali-Colombia con el fin de identificar horas críticas, temperaturas máximas y mínimas, mediante el software Design Builder. Se determinó una reducción del 60% de la carga energética al interior del edificio con las estrategias bioclimáticas en comparación al edificio construido convencionalmente [6].

Por otro lado, la Pontificia Universidad Católica de Chile ha desarrollado varias investigaciones sobre la influencia de los techos verdes en las edificaciones, en el año 2015 desarrollaron una investigación basada en la influencia de las características de las plantas y el sustrato usadas como techos verdes para analizar el rendimiento energético de un supermercado en un clima semiárido. Los parámetros de estudio del sustrato fueron propiedades como la densidad, las propiedades térmicas y el contenido de humedad. En la vegetación se tuvo en cuenta aspectos como la altura de la planta y el índice de área foliar. Simularon 900  $m^2$  de supermercado con el software Design Builder con la interfaz de Energy Plus. Principalmente simularon aspectos como la arquitectura, ganancias de calor interno según del horario, horarios de riego y distintas configuraciones de altura para las plantas que

conforman el techo verde y los distintos tipos de sustrato. El estudio concluyó que el techo verde aísla de una manera importante el calentamiento y por ende el consumo energético que lo reduce entre el 40% y 60% en el mejor de los casos. Concluyendo que el área de índice foliar es un parámetro de suma importancia si la finalidad es reducir el consumo energético, mientras que la altura de la planta es independiente a la reducción de consumo energético [7].

En relación con estudios locales, la Universidad Industrial de Santander simuló dos edificaciones (EIE EII) de tipo universitario con 5 pisos y un sótano (Edificios de la universidad) y una vivienda de interés social (VIS) de 2 pisos. Estas edificaciones cuentan con técnicas de construcción y materiales convencionales, tales como muros en ladrillo hueco, pantalla de concreto y drywall, el edificio EIE presenta un área de ventanales cerca al 70% de la fachada, el EII tiene un 40% de la fachada en ventanales y la VIS un 30% de la fachada en vidrio. Se realizó la simulación de las tres edificaciones empleando estrategias de ahorro, encontrando un ahorro del 77,2% en el EIE con respecto a su edificio de referencia debido a estrategias como ventilación natural, iluminación natural por ventanales y cubierta verde. El EII muestra un ahorro aproximado del 53.2% con respecto al edificio sin estrategias de bio climatización, dichas reducciones se encuentran asociadas al uso de sistemas de climatización y a la reducción de la potencia de iluminación [8].

Con el mismo orden de ideas la Universidad Nacional de Colombia evaluó el uso de un techo verde para una vivienda común ubicada en la Ciudad de Cartagena, usando distintas configuraciones de cubierta verde para su exhaustivo análisis en propiedades como mejoras en el confort térmico sin la necesidad de sistemas de enfriamiento de gran potencia o el ahorro en términos energéticos generado por la cubierta vegetal.

Los análisis posteriormente se comparan con los efectos térmicos empleando una cubierta común de fibrocemento empleando el software Ecotec (Basado en la metodología del año 2014). Con el análisis lograron determinar la temperatura que disminuyó la cubierta verde que según los resultados fue de hasta 1.5°C en la máxima temperatura diaria que puede llegar a alcanzar la vivienda, cabe destacar que esta disminución de la temperatura puede llegar a variar dependiendo de distintos factores como el clima de la zona donde se esté realizando el análisis, para este caso de estudio fue un clima tropical correspondiente a la costa caribe colombiana, la reducción del costo energético genera una rentabilidad aproximada del 4.4% anual en un periodo de veinte años, baja en comparación con la disminución de la emisión de CO<sub>2</sub> el cual fue hasta de un 53% por año [9].

En cuanto al análisis de ciclo de vida se encontró un estudio realizado por la Universidad de Zaragoza en donde realizan dicho análisis para un proyecto de tres edificaciones evaluando etapas desde su construcción hasta su desecho como escombros utilizando diferentes categorías de impacto ambiental tales como: La energía incorporada, el potencial de calentamiento global y la huella hídrica. Empleando la base de datos Ecoinvent v2.0 que contiene un amplio número de materiales de construcción clasificados como aglutinantes, bituminosos, ladrillos, revestimientos, entre otros. En cuanto a las etapas de los materiales de construcción se consideraron las fases de fabricación, transporte, construcción y fin de vida. Durante todo el estudio, en cuestión de consumos energéticos directos se determinó un mayor impacto en la refrigeración e iluminación (Energía eléctrica en baja tensión) que en la calefacción y el agua caliente (gas natural a baja presión), Respecto al consumo de agua se evidenció que una cubierta de 100m<sup>2</sup> podría llegar a proporcionar 52.000 litros de agua lluvia

al año, por lo que se debería incentivar a incorporar sistemas de gestión y reutilización de las aguas lluvia en zonas de alta pluviometría [10].

En base a los resultados obtenidos en los estudios presentados previamente se considera los techos verdes como una alternativa ecológica que reduce los consumos energéticos de la edificación, por lo que es necesario seguir realizando estudios para comprender más el comportamiento de los techos verdes bajo distintas condiciones climatológicas.

### **3. MARCO TEÓRICO**

Las cubiertas vegetales o techos verdes son sistemas constructivos que permiten implementar una capa vegetal sobre la superficie de una estructura mediante la instalación de estratos, con diferentes espesores dependiendo del tipo de cubierta a implementar, de esta manera este se convierte en un sistema ideal que combina elementos fundamentales del aspecto estético y arquitectónico de la edificación aunque su verdadero impacto está en la huella ecológica que puede causar, de qué manera se hace una tecnología sostenible y no solo se trate de un elemento estético más. También es destacable que clasificar a una edificación con o sin techo verde no es únicamente ver un jardín en la parte superior de la edificación, es decir, los techos verdes tienen sus rigurosos procesos de implementación y uso que básicamente se encargan de verificar que la eficiencia y uso del techo verde sea beneficioso en términos monetarios para el propietario del predio y ecológico para el medio ambiente en general [11].

Los techos verdes en general se rigen bajo ciertas normas, es decir, ver un jardín en la parte superior de una edificación no quiere decir que sea un techo verde ya que estos requieren ciertos parámetros de funcionalidad y eficiencia. Adicionalmente a esto los techos verdes deben cumplir con unos parámetros mínimos en términos de seguridad que básicamente tienen como función garantizar que el techo verde pueda funcionar de una manera rentable sin altos costos de mantenimiento como el viento, riesgos por incendio o raíces [12].

### 3.1. Estructura de los techos verdes

El sistema de techos verdes consta de diferentes capas con diferentes funciones para permitir el correcto funcionamiento de este sistema

- Capa para impermeabilización. Evita el contacto entre el soporte del techo y agua.
- Capa de drenaje. Conduce el agua excedente fuera del sistema.
- Capa de filtro. Impide el paso de raíces a través de la cubierta.
- Capa de sustrato. Medio de crecimiento para la vegetación.
- Capa vegetal. Capa donde están los especímenes vegetales [13]

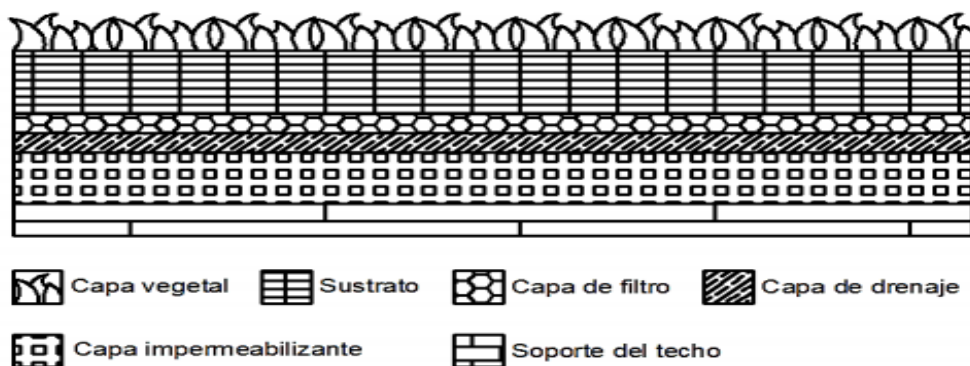


Figura 1. Estructura de un techo verde. Flórez Andrés 2018.

### 3.2. Tipos de techos verdes

#### 3.2.1. Techos verdes extensivos

Empleada comúnmente en tejados de difícil acceso debido a que es económico, ligero y requiere un mantenimiento mínimo. La capa de sustrato tiene un espesor entre 5 y 15 cm, está compuesto por materiales inorgánicos permitiendo un buen drenaje, llegando a pesar entre 60 y 140 kg/m<sup>2</sup>.

Las plantas más adecuadas para este tipo de cubierta son especies de tipo sedum, son plantas de baja mantención y resistentes a condiciones extremas [14].



Figura 2. Cubierta verde extensiva Tomada de Cubiertas Verdes Extensivas [Fotografía], ZinCo, <https://zinco-cubiertas-ecologicas.es>

### 3.2.2. Techos intensivas verdes

Este tipo de cubierta son considerados como jardines convencionales, teniendo la capacidad de emplear mayor variedad de plantas, desde arbustos hasta árboles, ya que tiene una profundidad de sustrato mayor a 30 cm, en comparación a una cubierta extensiva está cubierta tiene mayor costo de instalación debido a que requiere un cálculo estructural detallado debido a su peso que oscila entre 250 y 400 kg/ m<sup>2</sup> [15].



Figura 3. Cubiertas intensivas verdes. Tomada de Cubierta Intensiva Verde [Fotografía], Isopan, <https://www.isopan.es>

### ***3.2.3. Techos semi-intensivos verdes.***

Sistema combinado entre cubiertas intensivas y extensivas, con un espesor de sustrato entre 12 y 30 cm, se pueden utilizar plantas un poco más grandes que las extensivas como pequeños arbustos, aunque se incrementa el grado de mantenimiento requerido por lo que se debe realizar un riego que dependerá del tipo de planta seleccionada. Posee mayor cantidad de materia orgánica a la cubierta extensiva, aumentando el peso entre 120 y 250 kg/m<sup>2</sup> dependiendo de la cantidad de materia orgánica contenida en el sustrato, aporta más diversidad ecológica en comparación a la cubierta extensiva [16].



*Figura 4. Sistema combinado intensiva-extensiva. Tomada de Cubierta Semi-intensiva [Fotografía], ZinCo, <https://zincocubiertas-ecologicas.es>*

### ***3.3. Beneficios medio ambientales***

Las cubiertas vegetales son fundamentales para el desarrollo urbano sostenible de una ciudad, al reducir el efecto de isla urbana de calor gracias a los procesos de fotosíntesis y evapotranspiración realizada por los especímenes vegetales, en donde absorben la energía solar evitando que se transforme en calor. Además, trae consigo otras series de beneficios de carácter económico, social y medioambiental [17].

### ***3.3.1. Reducción de la temperatura ambiente***

Un techo verde reduce la temperatura de diferentes maneras, mediante la capa de sustrato implementada en el techo verde actúa como aislante térmico evitando un incremento de la temperatura en el techo o mediante procesos fisiológicos de la vegetación como lo son la evapotranspiración, fotosíntesis y la capacidad de almacenar calor de su propia agua. Generando menores temperaturas y así presentando un ahorro de energía debido a un menor uso del aire acondicionado [18].

Los resultados de un estudio realizado en cinco barrios residenciales de Hong Kong demuestran que los beneficios térmicos de los techos verdes generaron una influencia positiva en la temperatura a nivel del techo, también se generó un impacto positivo hasta el suelo que mejoro el microclima del barrio en donde los techos verdes extensivos reducen la temperatura a nivel peatonal entre 0.4 a 0.7 °C. Mientras que los techos verdes intensivos reducen la temperatura entre 0.5 a 1.7°C teniendo mayor efecto en sitios de poca altura [19].

### ***3.3.2. Mejora el drenaje de aguas lluvias***

La instalación de techos verdes es capaz de reducir la carga del sistema pluvial debido a la capacidad del sustrato de retener una parte del agua lluvia que posteriormente será utilizada por la planta para llevar a cabo sus funciones vitales

Un estudio realizado por la universidad de los Andes identifico al tipo de sustrato como la variable más relevante en términos de capacidad de retención y calidad del agua de la escorrentía. Teniendo una mayor influencia dependiendo de ciertas variables, en suelos extensivos se evidencio la humedad y la temperatura como variables relevantes en el proceso, mientras que en suelos intensivos las únicas variables que evidenciaron alguna relevancia

fueron intensidad máxima y duración. Analizando la calidad de agua se encontró un mayor aporte de materia orgánica y fósforo a la escorrentía del agua [20].

### ***3.3.3. Aumento de la durabilidad de la cubierta***

La vegetación protege el techo de factores climáticos como el sol, la lluvia y el viento prolongando su vida útil mientras evita agrietamientos generados por cambios térmicos llegando a incrementar la vida de la cubierta a 40 años o el doble de una cubierta tradicional. En promedio una cubierta convencional cada 30 o 40 años debe repararse las goteras producidas por grietas, mientras que en cubiertas verdes se debe reparar hasta 50 o 60 años [21].

### ***3.3.4. Aumenta la biodiversidad***

Las cubiertas verdes contribuyen con la conservación de fauna, debido a que estas cubiertas proporcionan un espacio en el cual se pueden instalar comunidades de diferentes especies de voladores pequeños como golondrinas, palomas, murciélagos entre otros, adicional a esto se pueden instalar algún tipo de planta que atraigan una especie en particular un ejemplo de esto es el techo de hierba instalado en la reserva de Wildfowl and Wetland Trust. Este ha servido de hogar para diferentes especies de alondras y proporciona un lugar adecuado para anidar patos silvestres [22].

Se puede instalar cuatro tipos de cubiertas dependiendo del beneficio que se desee y el tipo de construcción que se tenga, estas cubiertas se clasifican dependiendo del espesor del sustrato.

### ***3.4. Consumo de Energía en Edificaciones***

Actualmente la demanda de energía se ha incrementado en gran cantidad debido al continuo crecimiento exponencial de la población mundial, aumentando así la demanda por los recursos naturales al mismo tiempo incrementando los costos de la energía, por esta situación se ha creado la necesidad de conservar la energía convirtiendo así la eficiencia energética en un eje primordial para la sociedad.

El impacto causado por los edificios, de viviendas o de servicios, proviene de su construcción, uso y la gestión empleada como residuo tras la demolición sin embargo la construcción y demolición son poco significativas en comparación con el uso energético del edificio a lo largo de su vida útil. A pesar del gasto energético en la obtención de materiales como lo es el cemento, acero o cerámicas. Se observa que los costos energéticos superan los demás costos medio ambientales de edificios de oficinas a partir de unos 15 años de servicio del edificio [23].

Se estima que alrededor el 50% de la contaminación en los grandes núcleos urbanos proviene de edificaciones dependiendo de las actividades que en ella se realicen siendo las de uso comercial y las de vivienda las mayor demanda de energía tienen, el gasto energético de la edificación varía dependiendo de la tecnología empleada para optimizar el gasto de energía siendo las edificaciones más antiguas los focos de contaminación a evaluar en las grandes ciudades, las edificaciones de décadas anterior carecen de sistemas eficientes que aislen el lugar de las condiciones climatológicas externas aumentando así la energía demanda para la climatización.

Se requieren normativas que se encarguen de regular el consumo energético de edificaciones en las ciudades, en ejemplo de lo anterior es España en donde todos los edificios a partir del año 2020 deben tener un consumo de energía casi nulo teniendo como requisitos contar con fuentes de energía renovables, sistemas de ventilación mecánicos o materiales de construcción que prioricen un menor consumo de recursos, medidas como estas fomentan la construcción de edificaciones ecológicas y sustentables [24].

### ***3.5. Modelación Energía Térmica***

Design Builder es un software enfocado en la simulación de edificaciones permitiéndonos evaluar aspectos como los consumos de energía y emisiones de carbono en el cual la principal característica es que emplea el motor de cálculo EnergyPlus el cual cuenta con las siguientes características:

- Ofrece una solución integrada de todos los procesos energéticos, manejo de etapas de simulación menores a una hora.
- Realizar cálculos de dimensionamiento de sistemas de calefacción y refrigeración mediante el método Heat Balance de ASHRAE.
- Ofrece modelos detallados de confort, incluyendo el método ASHRAE 55.
- Resultados de simulaciones con numerosa información sobre el desempeño del edificio dentro de los cuales este consumo energético, emisiones de carbono y condiciones higrotérmico-interiores en diferentes intervalos como anual, mensual, diario, horario y sub-horario

Además de estas características Design Builder se puede emplear para:

- Evaluar el desempeño ambiental y energético de edificios, mediante simulaciones dinámicas en tiempo real.
- Calcular demandas y consumos energéticos (Emisiones de carbono, iluminación).
- Evaluar diversas estrategias de climatización pasiva.

Evaluar el nivel de aprovechamiento de la iluminación natural en el edificio y la reducción correspondiente del uso de la iluminación artificial [25].

### ***3.5.1. Cálculos y Simulación Energy Plus***

Design Builder ofrece tres tipos de cálculos mediante el módulo simulación, todos basados en el motor de cálculo de EnergyPlus:

- Cálculos de diseño de calefacción.
- Cálculos de diseño de refrigeración
- Simulaciones

### ***3.5.2. Cálculos de Diseño de Calefacción***

Los cálculos de diseño de calefacción se emplean fundamentalmente para dimensionar el sistema de calefacción determinando que potencia se requiere para cubrir siempre la carga de calefacción del edificio con una certeza razonable. Design Builder permite realizar los cálculos en el diseño de la calefacción con un método similar a los planteados por organizaciones como ASHRAE, pero utilizando su modelador 3D y motor de cálculo de EnergyPlus. Algunas de las características en el diseño de la calefacción son las siguientes.

- Emplea condiciones climáticas de diseño especificadas en datos del sitio, no emplea archivos de datos climáticos horarios
- Cálculos efectuados en régimen estacionario
- Pueden incluir pérdidas de calor por infiltración
- Se toma en cuenta de manera detallada la transmisión de calor

### ***3.5.3. Cálculos de Diseño de Refrigeración***

Los cálculos de diseño de refrigeración se emplean fundamentalmente para dimensionar el sistema de refrigeración determinando que potencia requiere para cubrir siempre las cargas de refrigeración del edificio, llevando a cabo cálculos de diseño de refrigeración empleando métodos similares a los planteados por organizaciones como la ASHRAE y CIBSE, pero utilizando su modelador 3D y motor de cálculo de EnergyPlus. Algunas de las características en el diseño de la refrigeración son las siguientes.

- Las temperaturas exteriores se derivan de condiciones climáticas de diseño especificadas en Datos del sitio. No emplea archivos de datos climáticos horarios.
- Los cálculos se efectúan en régimen periódico, en donde se simula un día de diseño (24 horas) con una curva periódica de temperaturas exteriores generado a partir de las temperaturas máximas y mínimas de las condiciones climáticas.
- Se toma en cuenta el impacto de la radiación solar en el edificio.
- No se toma en cuenta ni velocidad ni dirección del viento.
- Se puede incluir las pérdidas de calor por infiltración [26].

#### **3.5.4. Simulaciones**

A diferencia de cálculos empleados en el diseño de calefacción y refrigeración, las simulaciones permiten evaluar el comportamiento de las edificaciones energéticamente, permitiéndonos obtener un desempeño energético de las edificaciones en “tiempo real” empleando datos climáticos horarios, estas simulaciones tienen las siguientes características:

- Las condiciones climáticas se definen con archivos de datos climáticos horarios en formato epw
- Las simulaciones se pueden efectuar para distintos periodos
- Los edificios suelen ser simulados con sistemas de climatización o sin ellos
- Se toma en cuenta el impacto de la radiación solar en el edificio
- Se consideran las ganancias internas por personas, iluminarias y equipos
- Se puede incluir las pérdidas o ganancias de calor por infiltración
- Se toma en cuenta de manera detallada la transmisión de calor mediante procesos conductivos

## **4. METODOLOGÍA**

### ***4.1. Plan de Trabajo***

Para cumplir con los objetivos planteados se elaboró un plan de trabajo con el propósito de llevar a cabo la investigación mediante tres actividades principales como la selección de la edificación, modelación en el software y análisis de resultados

#### ***4.1.1. Selección de la Edificación***

La edificación fue elegida en función de parámetros como el alto consumo de un sistema de enfriamiento y el tipo de uso habitacional, la primera indica un gasto significativo en términos energéticos y la siguiente la frecuencia con la que se requiere el uso de este sistema. Esta selección también se hizo considerando aspectos propios de la edificación como el tipo de sistema constructivo, los materiales empleados en la construcción y la distribución interna de la edificación, teniendo en cuenta si estos aspectos afectan de manera positiva o negativa en términos de eficiencia energética.

#### ***4.1.2. Modelación en Design Builder***

Se emplearon dos tipos de modelación de la edificación, inicialmente se modeló empleando los materiales reales de la edificación guardando aspectos propios de la ella como la distribución interna y el sistema constructivo, en un segundo caso se modeló la edificación manteniendo los estándares empleados en la primera simulación, pero modificando la cubierta por un techo verde establecida en el programa Design Builder. Se estableció una plantilla de materiales cuyas características se seleccionaron para que fuesen lo más parecido a la realidad. Adicional a los materiales se definieron las cargas internas de la edificación que incluyó equipos electrónicos y de refrigeración. Estos dos tipos de edificación se modelaron

en diferentes situaciones climatológicas empleando las características de las ciudades de Bogotá, Bucaramanga y Cartagena, para ello se usaron archivos climáticos con información de cada una de estas ciudades encontrados en la web <http://climate.onebuilding.org/> que posee la información requerida por el programa entre los años 2005 y 2018.

#### ***4.1.3. Análisis de Resultados***

Para finalizar se compararon los resultados obtenidos de las simulaciones con el fin comprender la eficiencia del techo verde en condiciones de habitabilidad de la edificación, analizando los resultados obtenidos entre distintas condiciones climatológicas se evalúa en qué condiciones el techo verde tendrá una mayor eficiencia.

#### ***4.1.4. Diagrama de Flujo***

El desarrollo de la investigación se hizo basado en un diagrama flujo de selección, modelación y simulación para la edificación que ha sido adjuntado, de esta manera comenzó por la selección del proyecto, se evaluaron principalmente dos factores como la distribución interna de la edificación y si era de uso comercial con el fin de obtener un mayor impacto al realizar los análisis con el techo verde, cuando se cumplieron esos dos condicionales se avanzó a la siguiente fase donde preliminarmente se modeló la estructura básica a manera de tener un punto de partida y se configuraron los archivos climáticos en el software, ya cumplido lo anterior se procedió a la modelación detallada de la edificación, se establecieron cargas internas de la edificación, configuración plantilla de actividad que se ajustara a la situación real de la edificación y el definición de la materialidad de los elementos. Cuando toda la fase de modelación se cumplió satisfactoriamente se realizó la simulación para las dos configuraciones de la edificación con y sin techo verde en cada una de las tres ciudades.

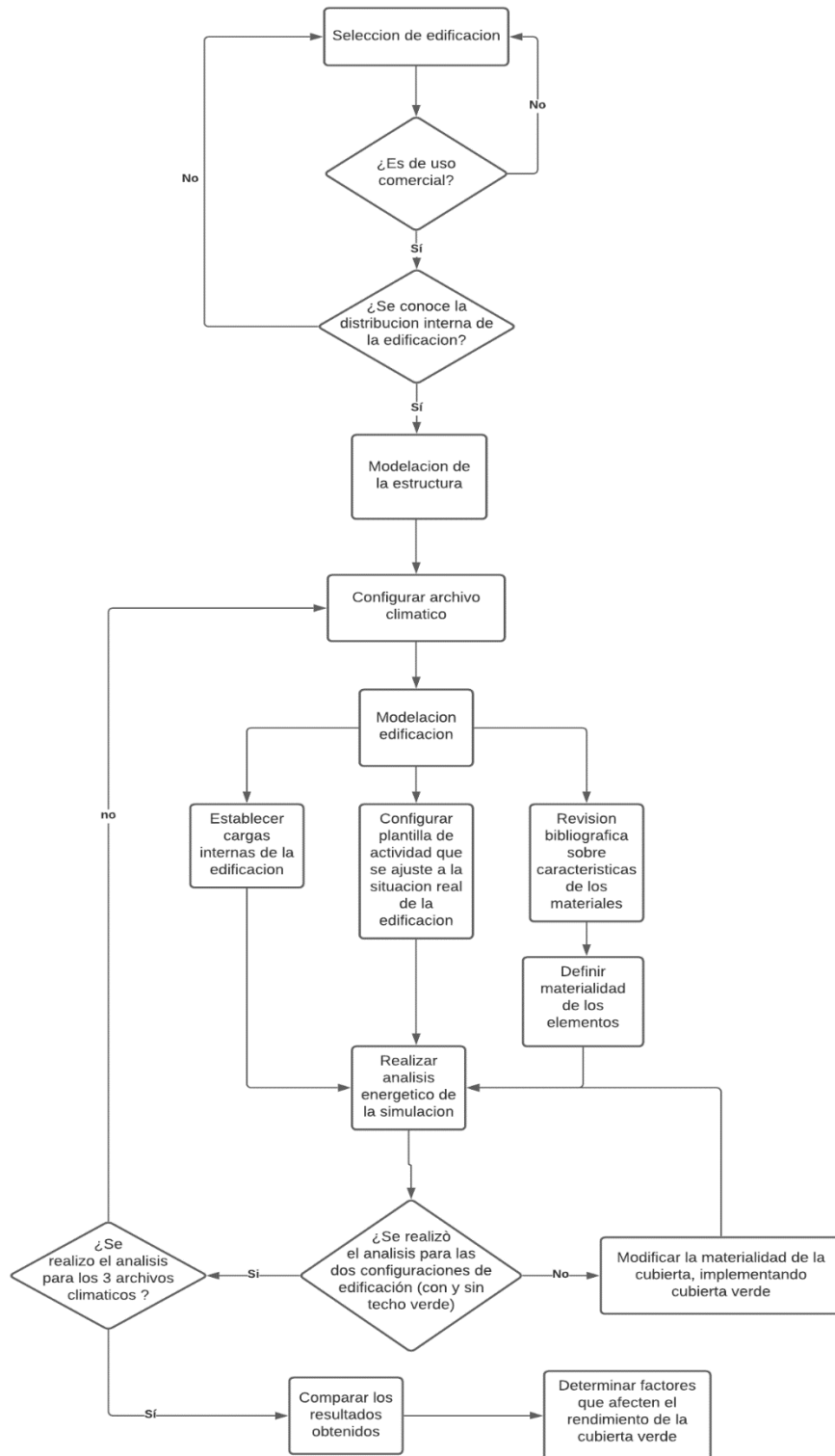


Figura 5. Diagrama de Flujo, Fuente. Elaboración Propia.

## 4.2. Localización

El modelo de edificación está ubicado en el departamento de Cundinamarca específicamente en la ciudad de Bogotá. Será emplazado en la ciudad de Bucaramanga y Cartagena para realizar los análisis posteriores.

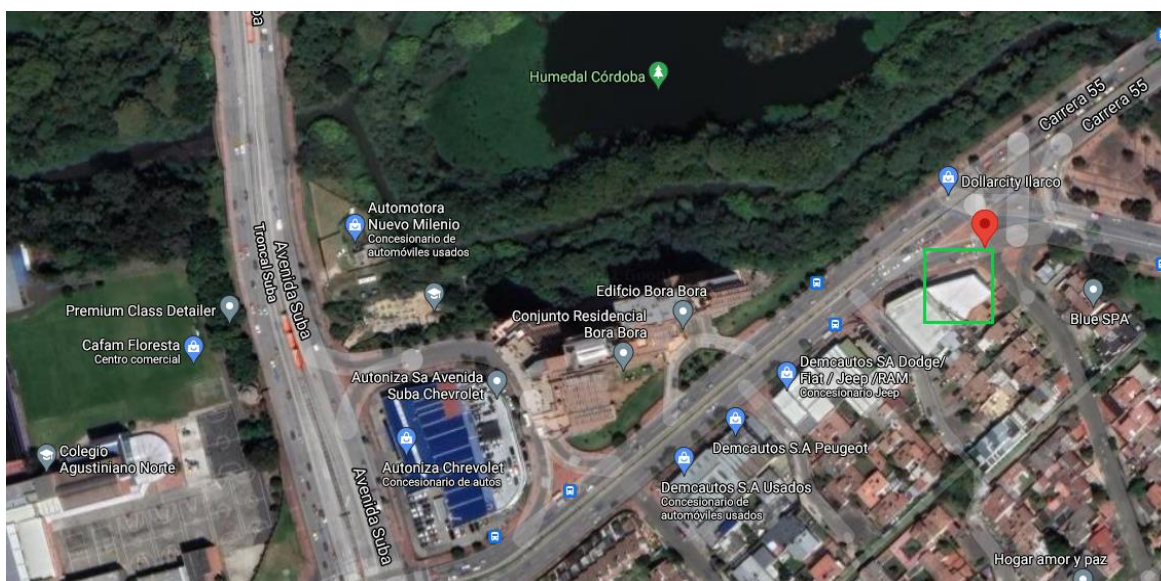


Figura 6. Localización geográfica del supermercado. Fuente. Google Earth

## 4.3. Condiciones Climáticas

A continuación, se describirán parámetros climáticos propios de cada una de las ciudades como temperaturas, porcentajes de humedad, precipitaciones y tiempo de horas de insolación que serán utilizados para simular cada una de las condiciones climáticas.

La ciudad de Bogotá se encuentra en el centro del país en la cordillera oriental con una extensión de 33 Km de sur a norte y 16 Km de este a oeste y a una altitud de 2.600 metros sobre el nivel del mar. Presenta un clima tropical debido a su posición y condiciones geográficas con temperaturas que oscilan entre 25°C Y 8°C y una media de 14°C no obstante la ciudad puede presentar temperaturas mayores en días más soleados o menores en días en

de alta precipitación. En el mes de enero la ciudad tiene el mayor promedio de horas de insolación por día con alrededor de 5 horas y por otro lado el mes de mayo corresponde al que menor promedio tiene con 2.7 horas. Los meses de mayor precipitación son abril, mayo, octubre y noviembre con precipitaciones medias entre 120 mm y 137 mm, el mes que presenta precipitaciones más bajas es julio con 35 mm; la humedad media mensual varía entre 74% y 77%.

La ciudad de Bucaramanga se encuentra en el departamento de Santander, ubicada sobre una meseta en la cordillera oriental a una altitud de 959 metros sobre el nivel del mar presenta un clima tropical con temperaturas que oscilan entre 29°C Y 19°C una media de 25°C. Las temperaturas pueden fluctuar a un punto más alto en las fuertes horas en las fuertes horas de insolación, así como pueden más bajar en horas de fuerte lluvia y alta nubosidad, en enero la ciudad presenta al mayor de horas de insolación con un promedio de 7 horas por otra parte abril el mes con menores horas de insolación con 4.4 horas. Los meses de mayor precipitación son abril y octubre con 152.9 mm y 157 mm respectivamente y enero con 52.4 mm el que menores precipitaciones registra; la humedad media mensual varía entre 84% y 90%. Sus suelos se dividen en dos grupos, unos con poco peligro de erosión utilizados principalmente para los cultivos y la ganadería, y por otra parte posee suelos con alto riesgo de erosión, presentan baja fertilidad.

La ciudad de Cartagena se encuentra al norte del departamento de Bolívar, ubicada en las coordenadas geográficas latitud 10° 23' Norte y longitud 75° 32' Oeste. localizada sobre la costa colombiana del mar caribe, tiene una topografía ondulada, presenta una altitud máxima de 155 metros sobre el nivel de la mar representada por los cerros La Popa, Marión y Albornoz las temperaturas oscilan entre 33°C y 23°C, el mes más cálido es Julio con 32°C.

Enero es el mes con mayores horas de insolación con aproximadamente 9 horas por otra parte abril el que menos horas de insolación tiene con 5.6 horas. El mes de mayor precipitación es octubre con 198.3 mm mientras febrero y marzo con 0.9 y 0.5 respectivamente los que menos registran; la humedad varía entre 78% y 82%. Debido a las precipitaciones sobre Cartagena se observan dos temporadas, un periodo cálido y seco entre los meses de diciembre y abril donde los días de lluvia son escasos, mientras que entre los meses de mayo y noviembre se presenta una temporada de lluvias en donde el mes más lluvioso es octubre.

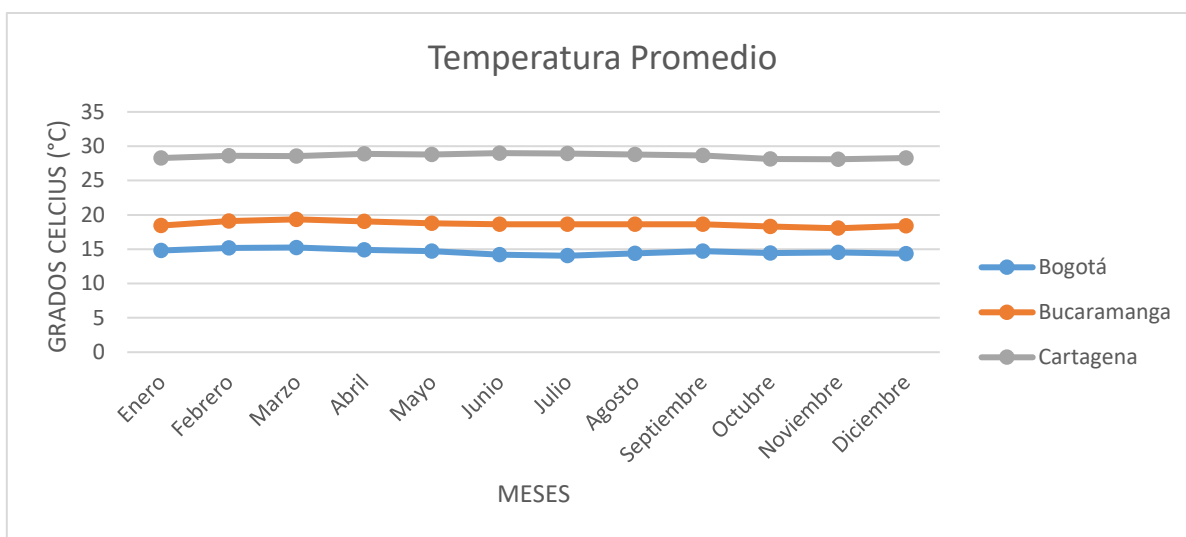


Figura 7. Temperaturas promedio. Fuente. Elaboración Propia.

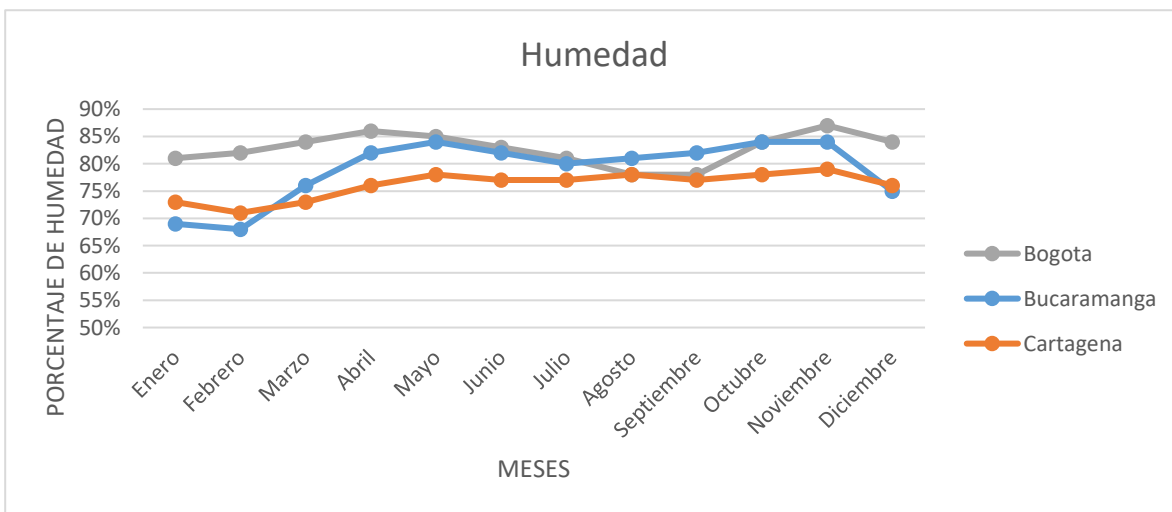


Figura 8. Humedad Relativa. Fuente. Elaboración Propia.

#### ***4.4. Edificio Base***

Corresponde a una edificación de tipo comercial de un piso con un área de 290 m<sup>2</sup> que será emplazada en las ciudades de Bucaramanga, Bogotá y Cartagena. La edificación está compuesta por un sistema de albañilería confinada, las superficies vidriadas se encuentran compuestas por un vidrio simple de 3 mm, la cubierta se compone de un sistema metal deck y la losa de contrapiso por una placa de concreto de 10 mm y la superficie de esta se encuentra cubierta por baldosa Payagrande Grano 5.



*Figura 9. Modelo de la edificación. Fuente. Elaboración Propia.*

La distribución interna de la edificación básicamente se compone de muros divisorios hechos de la misma manera en mampostería confinada que divide la edificación en tres grandes zonas, la zona uno se utiliza para para la comercialización de los productos del supermercado está compuesta por los estantes de productos y las cajas registradoras, las zonas dos y tres no se encuentran abiertas al público y su uso es de bodega donde se lleva el registro e inventario de los productos.



Tabla 2. Propiedades de los materiales.

	Calor Especifico (J/kgK)	Conductividad (W/mK)	Densidad (K/m <sup>3</sup> )
Mortero Cemento	920	0.72	1620
Concreto	840	0,16	500
Ladrillo Arcilla	840	0,72	1920
Cerámica Esmaltada	840	1,4	2500
Lamina Colaborante	500	45,28	7824

#### 4.6.Cargas Internas

Las cargas internas de la edificación se componen por dos tipos, los equipos electrónicos (computadores y equipos de refrigeración) y los ocupantes. Para cada una de las cargas se ha definido un patrón mediante calendarios, para los equipos electrónicos en este caso computadores se definió el calendario estándar de atención del lugar al igual que el calendario de ocupantes, para los equipos de refrigeración o congeladores se definió un calendario de manera continua las 24 horas.

Tabla 3. Calendarios de uso de equipos y ocupantes.

Uso	Hora de Inicio	Hora Final
Computadores	8:00	21:00
Equipos de refrigeración - Congeladores	Continuo	Continuo
Ocupantes	8:00	21:00

Los computadores aportan una carga  $4,14 \text{ W/m}^2$ , que da como resultado al cociente entre el gasto energético total de los computadores presentes y el área del lugar. El gasto total de los computadores se calcula por el producto entre el gasto de energía de un computador individual y la cantidad de computadores. Los refrigeradores de alimentos o congeladores aportan una carga  $220,61 \text{ W/m}^2$  que da como resultado al cociente entre la energía consumida por el total de congeladores, tres en este caso particular y el área del lugar.

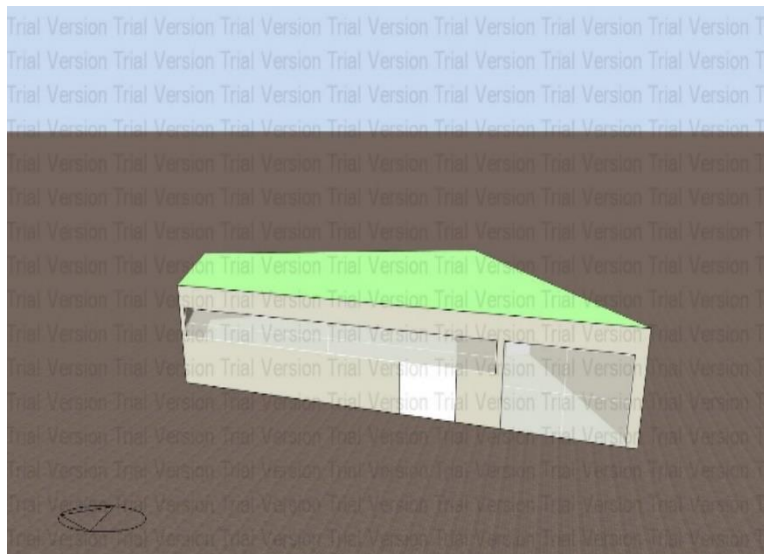
Al definir la densidad por número de personas para cada metro cuadrado se ha asignado el valor de  $0,1360 \text{ Personas/m}^2$ , este valor se ha tomado a partir de promedios donde según franjas de tiempo se realiza el conteo aproximado de las personas en el local así al final día se tiene un promedio de personas presentes en el lugar en un rango de 24 horas, para hacer el conteo más fiable el muestreo de debe aumentar de las 24 horas diarias a las 168 horas semanales ya que este muestreo tendrá en cuenta la afluencia del público en los fines de semana y los días que por una u otra razón el supermercado reciba más clientes. Al tener calculado el valor de personas promedio en local por hora se divide por el área del local que dará como resultado el valor de la densidad poblacional.

La iluminación del lugar se ha determinado utilizando las plantillas predeterminadas del Design Builder que está diseñada para simular la iluminación presente en un supermercado, esta tiene una carga de  $12,9 \text{ W/m}^2 - 100 \text{ lux}$  de acuerdo con lo descrito en la Tabla 9.6.1 de la norma ASHRAE-2010, también se ha asignado el nivel máximo de luminancia en 600 lux que para lugares de comercialización de productos está en el rango de 300 y 600 lux junto con una densidad de iluminación de  $10 \text{ W/m}^2$  además al sistema de iluminación se le ha asignado el calendario de operación del supermercado, de este modo toda la iluminación está en funcionamiento permanentemente.

El sistema de climatización se ha asignado en 24°C para el inicio de la refrigeración del sistema es decir, que en el momento que la temperatura sobrepase los 24°C el sistema de refrigeración se encenderá y regulará la temperatura a 20°C según lo dispuesto en la norma NZ4218, de esta manera cuando la temperatura sea a inferior a los 24°C el sistema de HVAC no estará en funcionamiento, cabe destacar que el funcionamiento del HVAC está sujeto al calendario asignado que va en línea con el horario de apertura del supermercado.

#### ***4.7. Techo de la edificación***

Se emplearán dos tipos de edificaciones para simular en las tres ciudades seleccionadas. Estos dos tipos de edificación “A” y “B” se diferencian en la composición del techo a emplear. En la edificación “A” se empleará un techo compuesto de una lámina de metal deck y una losa de concreto, mientras que en la edificación “B” estará compuesta de una capa externa de vegetación, seguida de una capa de “Asphalt- poured”, una capa de “fibreboard” ubicada debajo de la capa de “Asphalt- poured”, una capa de “XPS Extruded Polystyrene”, y finalizando con una losa de concreto y una lámina de metal deck.



*Figura 11. Modelo edificación con techo verde. Fuente. Elaboración Propia.*

Tabla 4. Capas del techo verde.

Capas de la edificación	Edificación tipo A	Edificación tipo B	Espesor
Capa 1	Aerated concrete slab	Green roof	0,35 m
Capa 2	Metal Deck	Capa de suelo	0,40 m
Capa 3		XPS Extruded Polystyrene	0,04 m
Capa 4		Aerated concrete slab	0,10 m
Capa 5		Metal Deck	Cal. 20

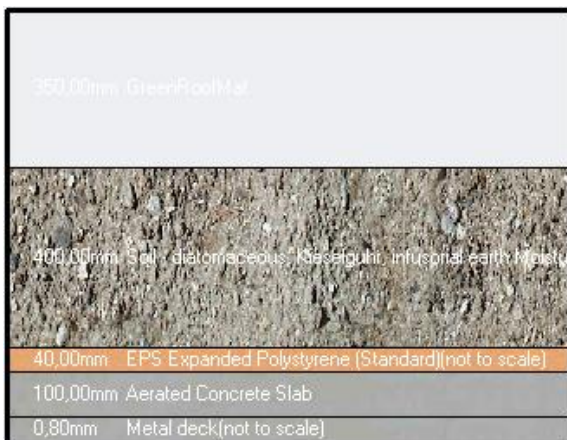


Figura 12. Capas, cubierta con techo verde. Fuente. Elaboración Propia.



Figura 13. Capas, cubierta convencional. Fuente. Elaboración Propia.

#### 4.7.1. Techo Verde

La vegetación del techo verde se ha definido bajo los parámetros de ser adecuada para una techo verde extensiva ya que se busca una vegetación que no requiera un alto gasto de mantenimiento y se ajuste a las condiciones climáticas presentadas en las diferentes localizaciones.

Se ha propuesto la *Zoysia Japónica* Steud usada comúnmente en cubiertas de tipo extensiva, en términos de mantenimiento la planta tiene la capacidad de absorber altas cantidades de luz solar y presenta un rápido crecimiento en climas tropicales y subtropicales un ambiente adecuado para los climas en los que se va a simular, también tiene requiere un riego de agua moderado o frecuente en las primeras semanas de colocación después de ello requerirá un riego infrecuente por lo cual no precisa de mucho mantenimiento. Este tipo de planta presenta un índice de área foliar (IAF) DE 2.0 y una altura promedio de 35 cm.



*Figura 14. Vegetación del techo verde, Zoysia Japónica. Tomada de Gardening Channel [Fotografía].*

#### ***4.7.2. Capa de suelo con un contenido de humedad del 9%***

Se empleó una capa de suelo de 40 cm de espesor, esta tiene la función de actuar como aislante que ayuda a retener los rayos que caen sobre el techo actuando de manera conjunta con la cubierta vegetal, también funciona con un almacenamiento de agua es de utilidad para abastecer la demanda de agua requerida por las plantas en la superficie.

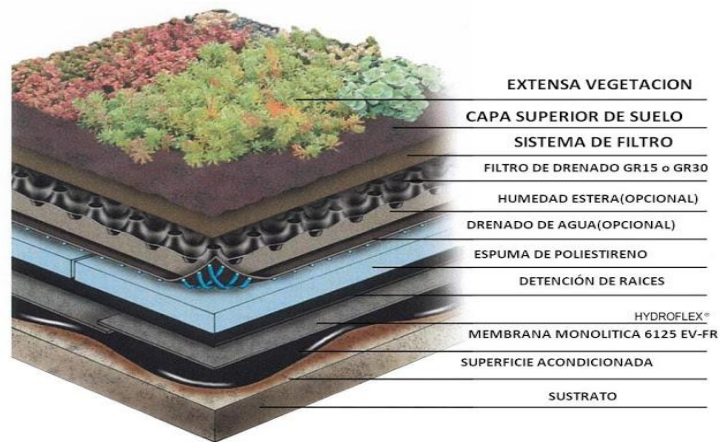


Figura 15. Sustrato de suelo en una estructura de techo verde. Tomada de Cubierta Vivir el verde.

#### 4.7.3. XPS Expanded Polystyrene

Este material fue seleccionado debido a sus características como aislante térmico que proporciona una mayor resistencia a la compresión, mayor resistencia al agua y una mayor resistencia térmica en presencia de agua en comparación a otros aislantes de espuma plástica esta capa tiene un espesor de 4 cm.



Figura 16. Poliestireno para techos verdes. Tomada de Insulated Suspended Floor [Fotografía].

#### 4.7.4. Cubierta Estructural

Está compuesta por un sistema Metal deck que cuenta con una lámina de 0.08 cm de espesor y una losa de concreto con refuerzo al fraguado de un espesor de 10 cm.

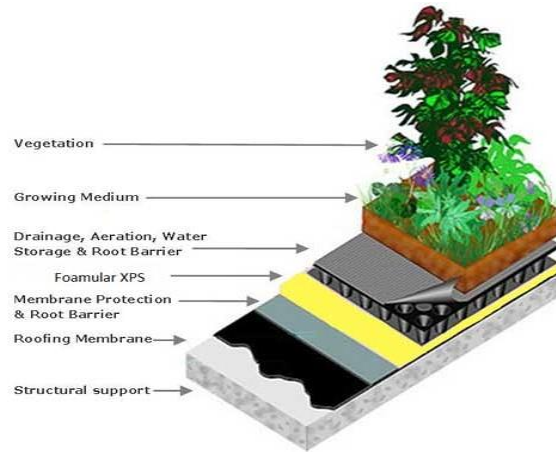


Figura 17. Composición típica de un techo verde. Tomada de Cubierta Verdes Ajardinadas

#### 4.7.5. Casos de Simulación

Para la mejor comprensión de los resultados a cada simulación se le asignará una nomenclatura que se ha establecido a continuación.

Tabla 5. Descripción Casos de Simulación

Nombre	Descripción
Caso 1	Simulación sin techo verde en Bogotá
Caso 2	Simulación con techo verde en Bogotá
Caso 3	Simulación sin techo verde en Cartagena
Caso 4	Simulación con techo verde en Cartagena
Caso 5	Simulación sin techo verde en Bucaramanga
Caso 6	Simulación con techo verde en Bucaramanga

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones para cada una de las ciudades, se determinó la demanda energética en cada uno de los casos durante 365 días del año a periodos de tipo mensual con la finalidad de comparar los consumos energéticos entre una edificación con techo verde y una con techo convencional.

Al realizar el análisis anual del gasto energético se calculó que porcentaje de energía de uso se redujo o aumentó según la ciudad, para la ciudad de Bogotá se obtuvo un aumento del gasto energético de un 4,7%, mientras que para las ciudades de Cartagena y Bucaramanga el gasto energético se redujo en un 13,4% y 6,2% respectivamente, menores en comparación al estudio realizado por College of Engineering and Built Environment que fue del 29,4%

Las gráficas presentadas a continuación representan el gasto energético en kWh/m<sup>2</sup> para cada una de las ciudades, resultante de las simulaciones con la cubierta convencional y la cubierta con techo verde, adicionalmente se muestran las ganancias solares con y sin la cubierta con techo verde para realizar los análisis correspondientes.

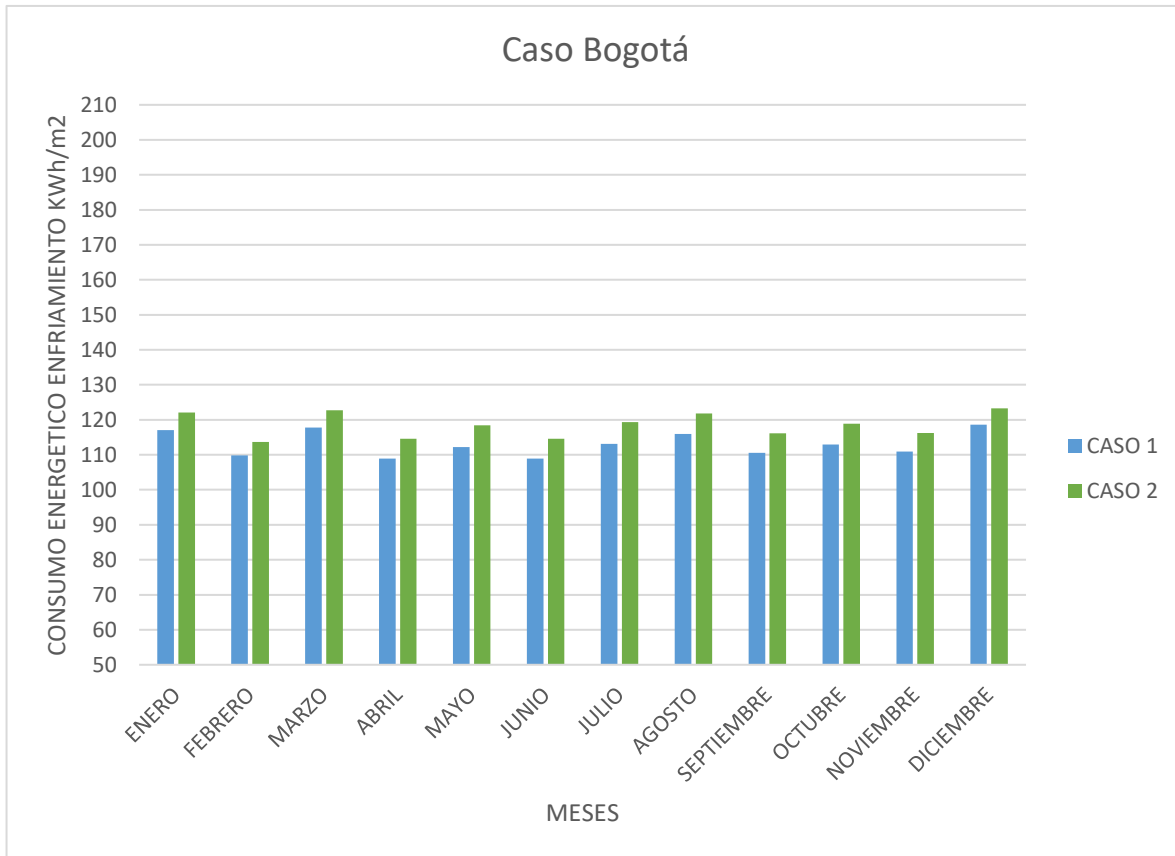


Figura 18. Comparación gasto energético con y sin cubierta verde, Bogotá. Fuente. Elaboración propia.

Los resultados en la ciudad de Bogotá en la figura 18 reflejan un aumento del consumo de energía al momento de emplear el techo verde, esto puede significar que se encuentra actuando como un aislante es decir, al ser Bogotá un clima templado medianamente frío el techo verde cumple la función de aislar el interior del lugar del clima exterior mayormente frío en este caso, de esta manera el interior del lugar toma la tendencia de mantener el calor haciendo que se incremente el costo de refrigeración en caso de ser necesario, una buena analogía de este fenómeno es lo que sucede en invierno en Europa, los techos verdes se encargan de mantener el calor al interior de las edificaciones aislándolas de las bajas temperaturas exteriores así generando menores gastos en calefacción.

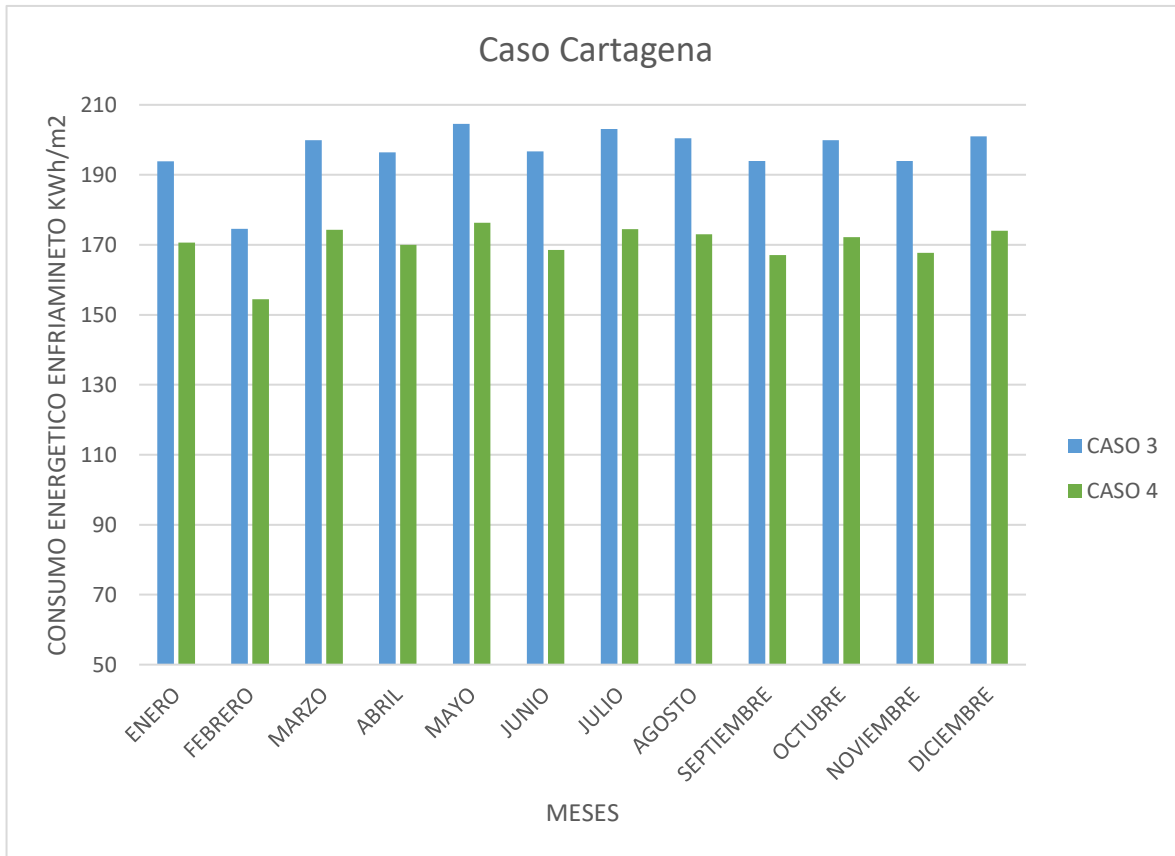


Figura 19. Comparación gasto energético con y sin cubierta verde, Cartagena. Fuente. Elaboración propia.

Al realizar el análisis para la ciudad de Cartagena en la figura 19 se puede evidenciar una disminución del consumo de energía para todos los meses del año, evidenciando que el techo verde está funcionando como un aislante de la temperatura exterior y los rayos solares que impactan directamente en la cubierta de la edificación de esta manera se puede decir que el techo verde funciona como un sistema de protección a los rayos solares debido a la sombra producida por la vegetación que no permite el alcance de los rayos solares a la cubierta estructural, la energía solar que se concentra en la cubierta se disipa casi en su totalidad debido al fenómeno de reflexión y la absorción por fotosíntesis, además el almacenamiento de calor latente ayuda a proteger la edificación a fuertes fluctuaciones de temperatura como

lluvias o sequías prolongadas, en la siguiente imagen se representa gráficamente que sucede con factores externos como la lluvia y los rayos solares al utilizar un techo verde.

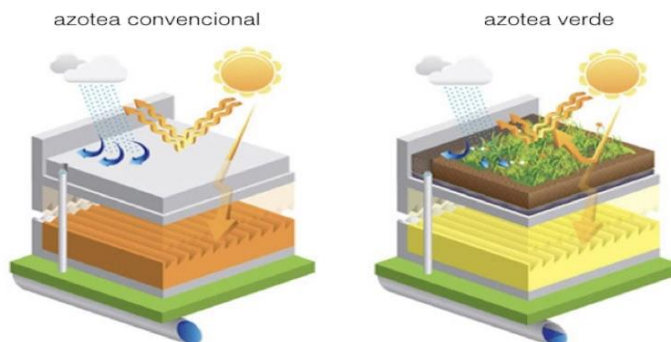


Figura 20. Impacto estructura techo verde vs convencional. Tomada de Beneficios de techos verdes. Fuente. Elaboración propia.

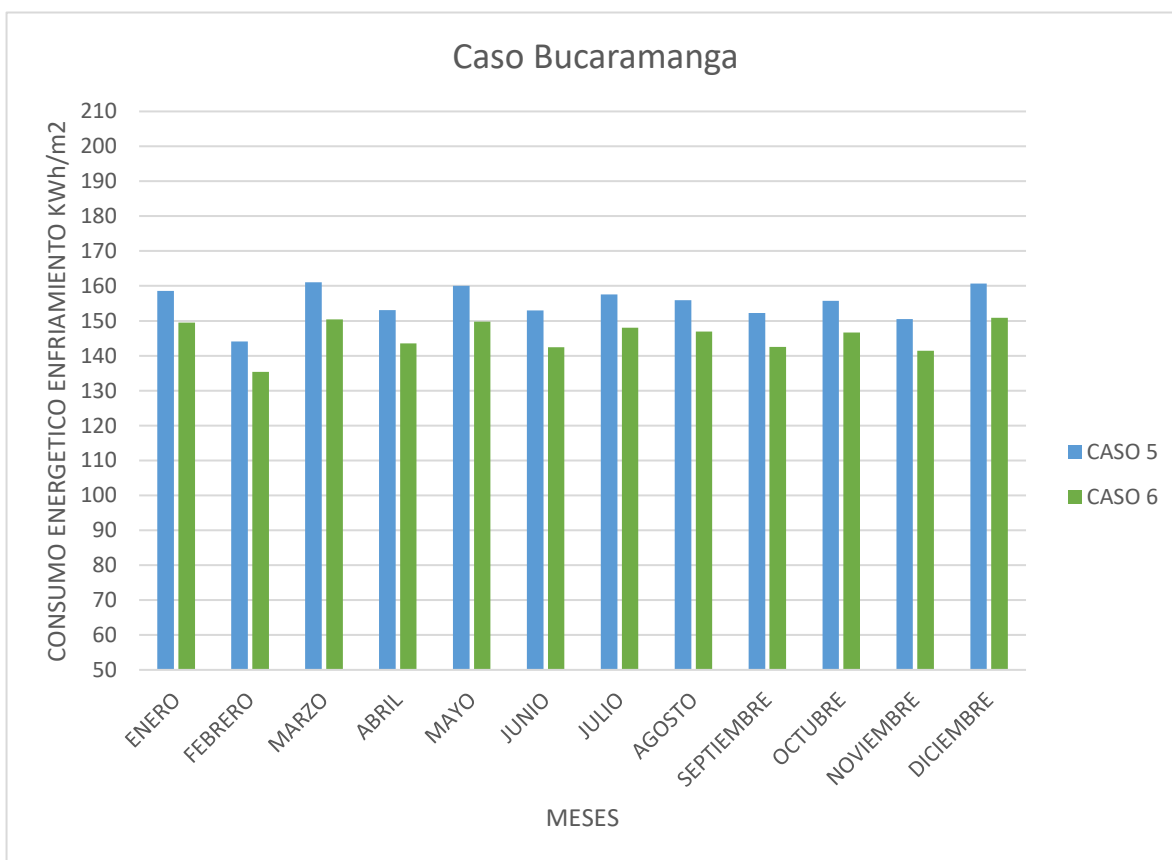


Figura 21. Comparación gasto energético con y sin cubierta verde, Bucaramanga. Fuente. Elaboración propia.

En el caso de Bucaramanga en la figura 21 se puede interpretar según los resultados de consumos energéticos que la influencia del techo verde no es significativamente alta pero aun así se obtienen ganancias cercanas al 7%, la disminución en ganancias en comparación a Cartagena pueden estar asociadas al cambio de temperatura y las horas de sol que recibe el techo y la temperatura ambiente que haga que funcione más como un aislante, también puede influenciar el tipo de vegetación utilizada en la simulación ya que dependiendo de esta y propiedades como el tipo de cubierta, el índice de área foliar o el espesor de la capa de la vegetación puede tener un impacto directo en el gasto energético si lo que se quiere es reducir el gasto de energía gracias al techo verde.

Para tener el análisis por el periodo anual se deben sumar todas las cargas producidas por refrigeración de tipo mensual, en los resultados se puede ver que el techo verde ha influido de manera distinta en los tres lugares de análisis, así como en la ciudad de Cartagena se muestra que el gasto energético disminuye en la ciudad de Bogotá pasa lo contrario, mientras que en la ciudad de Bucaramanga el gasto energético permanece constante, estos llevan a la interpretación de que la influencia del techo verde está ligada a las condiciones climáticas del entorno, en una ciudad como Cartagena donde las temperaturas promedio son altas y hay una cantidad importante de horas de insolación de sol al año el techo verde obtiene el rendimiento esperado, mientras que en la ciudad de Bogotá donde hay un clima moderadamente frío y con temperaturas que oscilan entre los 10°C Y 20°C no se evidencia una disminución del gasto de energía, aunque esto no quiere decir que el techo verde no tenga un impacto positivo en el ambiente ya que este ayuda a capturar las partículas contaminantes

en la atmosfera, capta más fácilmente las aguas lluvia y sirve como una aislación sonora para el interior del establecimiento.

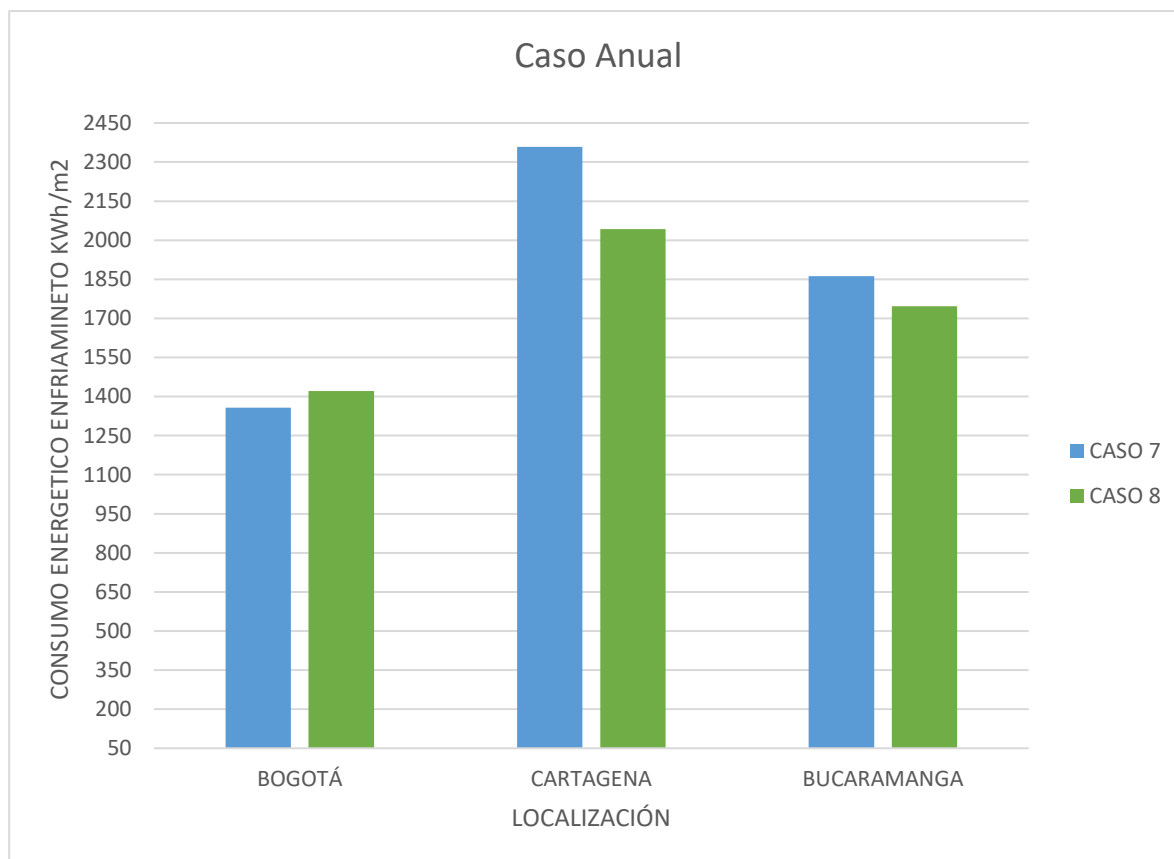


Figura 22. Comparación del gasto energético anual con y sin cubierta verde para los tres. Fuente. Elaboración propia.

Según las gráfica del consumo energético en la figura 22 se observan dos comportamientos en los techos, en el caso de Cartagena y Bucaramanga se presenta un ahorro de consumo energético el cual se debe a que el techo verde reduce las ganancias solares representado en un ahorro considerable de la energía. En el caso de Bogotá a pesar de presentarse la misma reducción en la ganancia solares, el techo verde reduce las infiltraciones externas representado un aumento de la energía para enfriar la edificación.

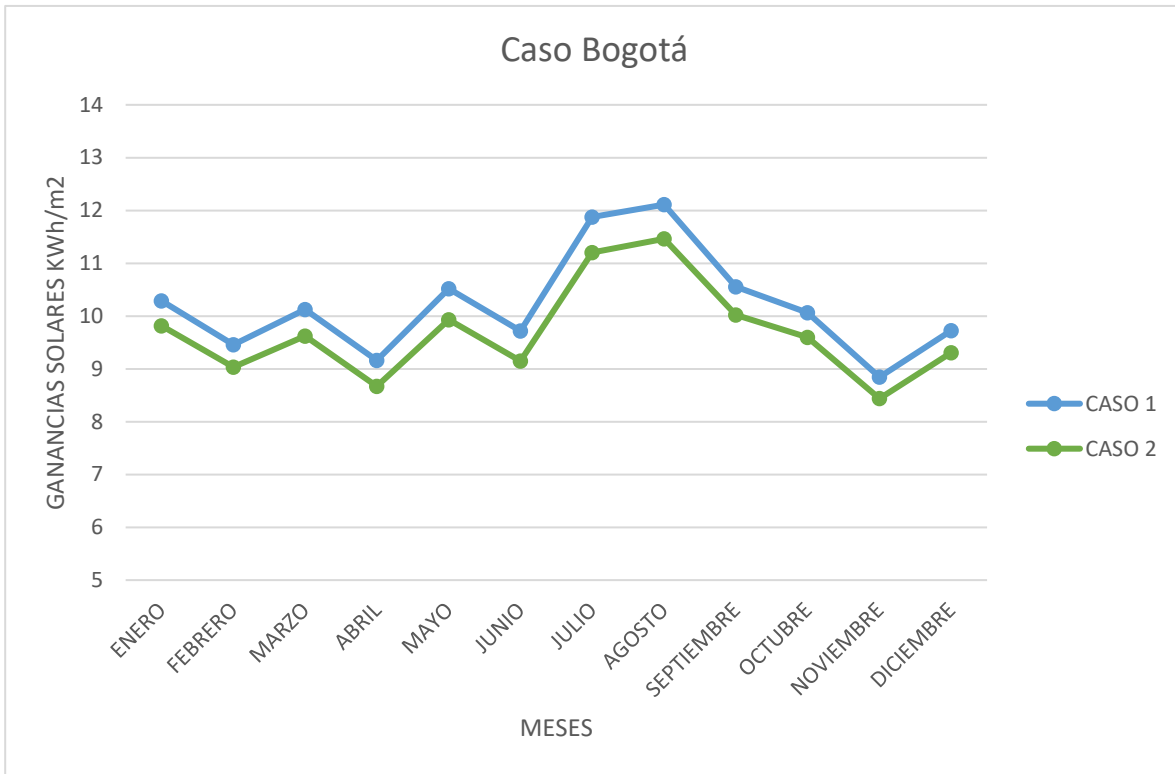


Figura 24. Comparación ganancias solares con y sin cubierta verde, Bogotá. Fuente. Elaboración propia.

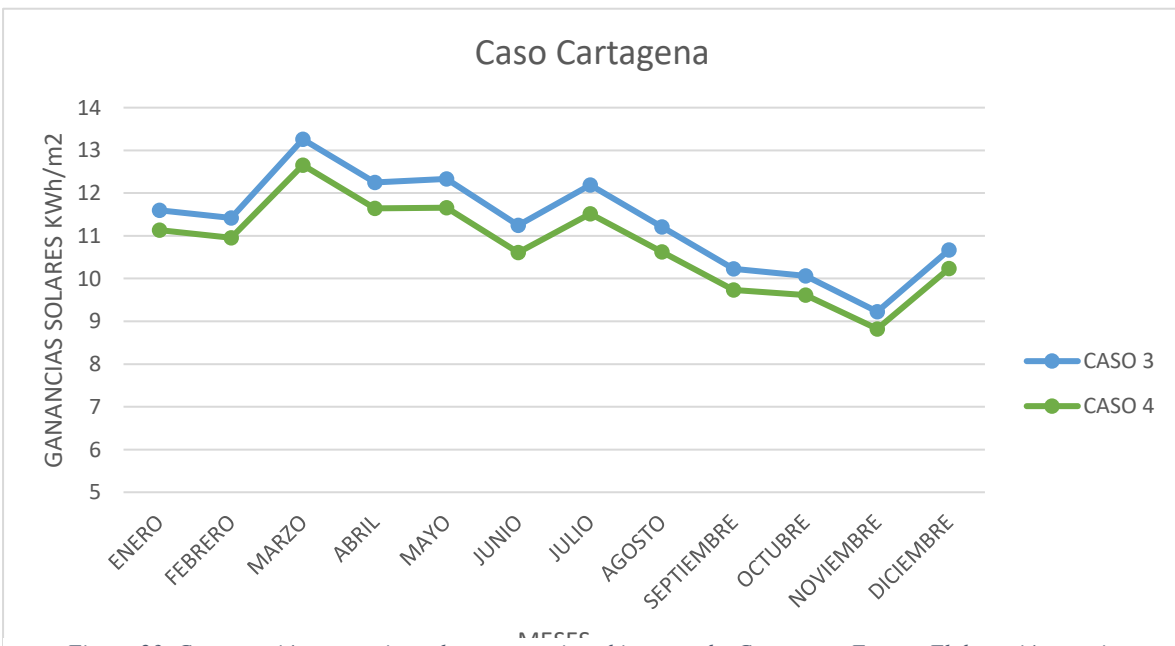


Figura 23. Comparación ganancias solares con y sin cubierta verde, Cartagena. Fuente. Elaboración propia

En la tabla que se presenta a continuación se observa que la magnitud del consumo energético que se reduce debido a la cubierta con techo verde depende directamente del clima de la ciudad en el que se encuentra la edificación. Se evidencia un mayor rendimiento en climas donde la temperatura elevada es mayor por lo que se requiere un menor uso de sistemas de refrigeración, presentándose así un ahorro monetario considerable, sin embargo, en ciudades con clima frío en donde se presentan temperaturas muy bajas no se presentó tal ahorro debido a que la cubierta con techo verde al actuar como aislante térmico reduce la temperatura interna de la edificación alejándola de la temperatura de confort. Por lo que se requerirá mayor consumo para acercar la temperatura de la edificación a la temperatura de confort el cual representará una pérdida monetaria.

*Tabla 6. Análisis económico del uso de techos verdes. Fuente. Elaboración Propia*

Localización	kWh/ Año	\$/ Año	\$/ Mes	Ganancia o Pérdida
Bogotá Sin Techo Verde	393467	\$ 218.374.185,00	\$ 18.197.848,75	
Bogotá Con Techo Verde	413972	\$ 229.754.460,00	\$ 19.146.205,00	-\$ 11.380.275,00
Cartagena Sin Techo Verde	683876,66	\$ 379.551.546,30	\$ 31.629.295,53	
Cartagena Con Techo Verde	58519-1,84	\$ 324.781.471,20	\$ 27.065.122,60	\$ 54.770.075,10
Bucaramanga Sin Techo Verde	540112,76	\$ 299.762.581,80	\$ 24.980.215,15	
Bucaramanga Con Techo Verde	504055,15	\$ 279.750.608,25	\$ 23.312.550,69	\$ 20.011.973,55

En las gráficas que se muestran a continuación podemos observar que el techo verde tiene dos efectos en la edificación, Reduce las ganancias solares y las infiltraciones externas, En el caso de Bogotá se presenta un consumo energético mayor con el techo verde debido a que las ganancias solares disminuyeron menos en comparación a lo que disminuyó la infiltración acentuando el gasto energético, en el caso de Bucaramanga y Cartagena se presentan ganancias por infiltración y altas ganancias solares que da como resultado un mayor gasto energético, al implementar el techo verde, este genera una disminución de cargas por infiltración que por consiguiente disminuye el gasto energético

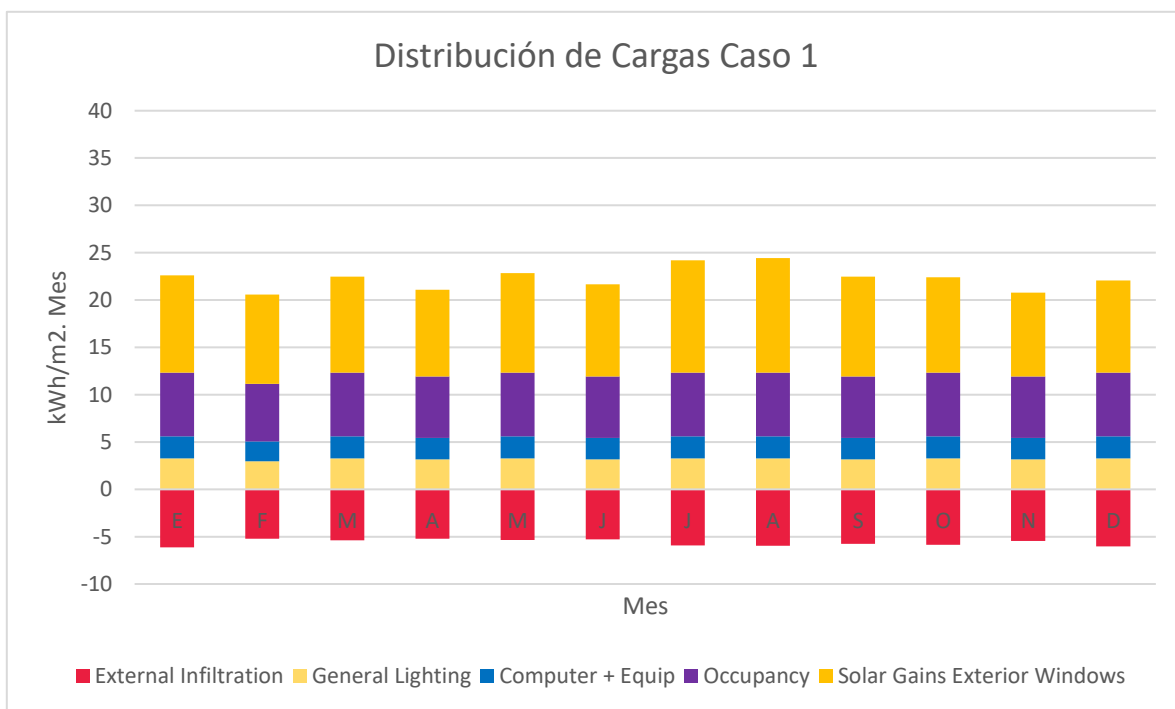


Figura 25. Distribución de Cargas, Bogotá Sin Cubierta Verde. Fuente. Elaboración Propia

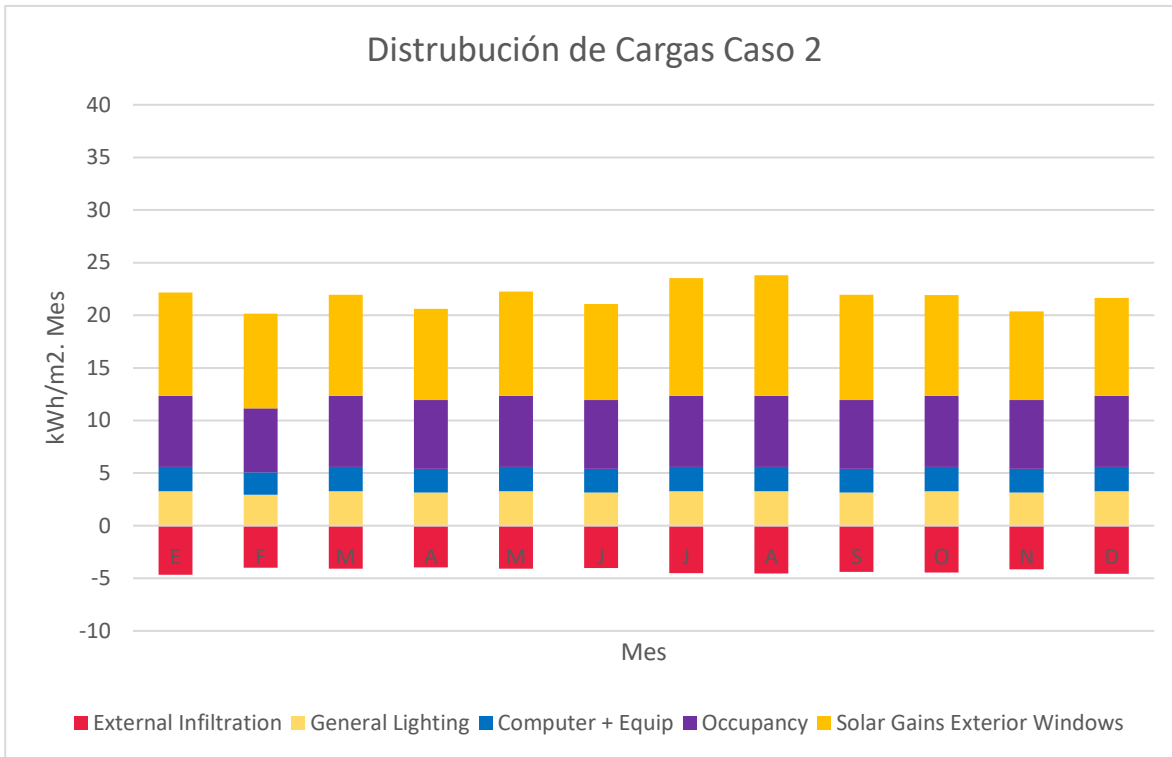


Figura 27. Distribución de Cargas, Bogotá Con Cubierta Verde. Fuente. Elaboración Propia.

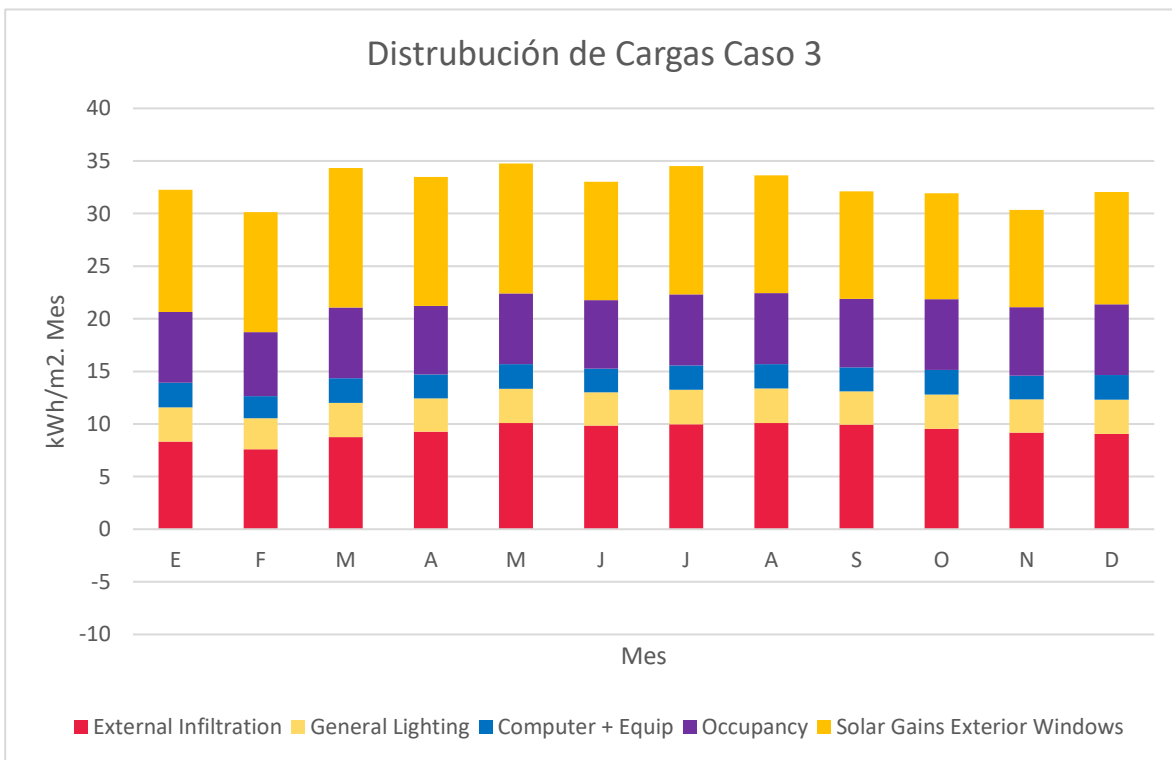


Figura 26. Distribución de Cargas, Cartagena Sin Cubierta Verde. Fuente. Elaboración Propia.

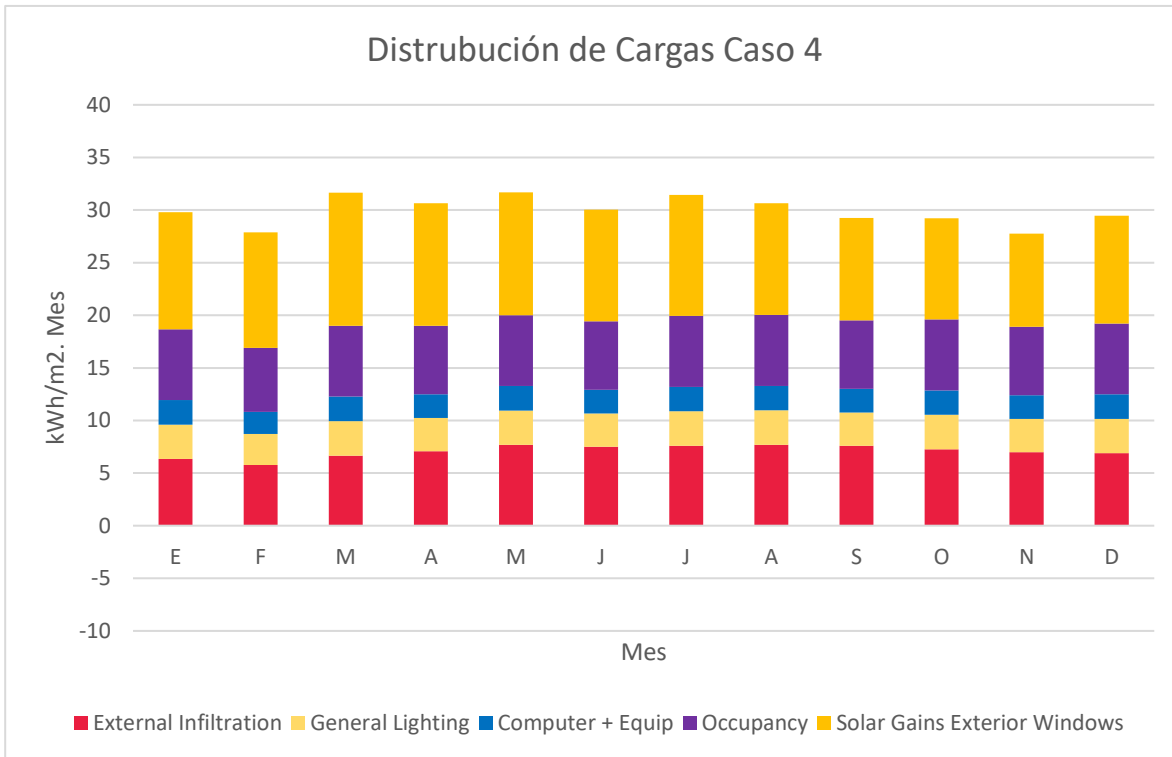


Figura 29. Distribución de Cargas, Cartagena Con Cubierta Verde. Fuente. Elaboración Propia

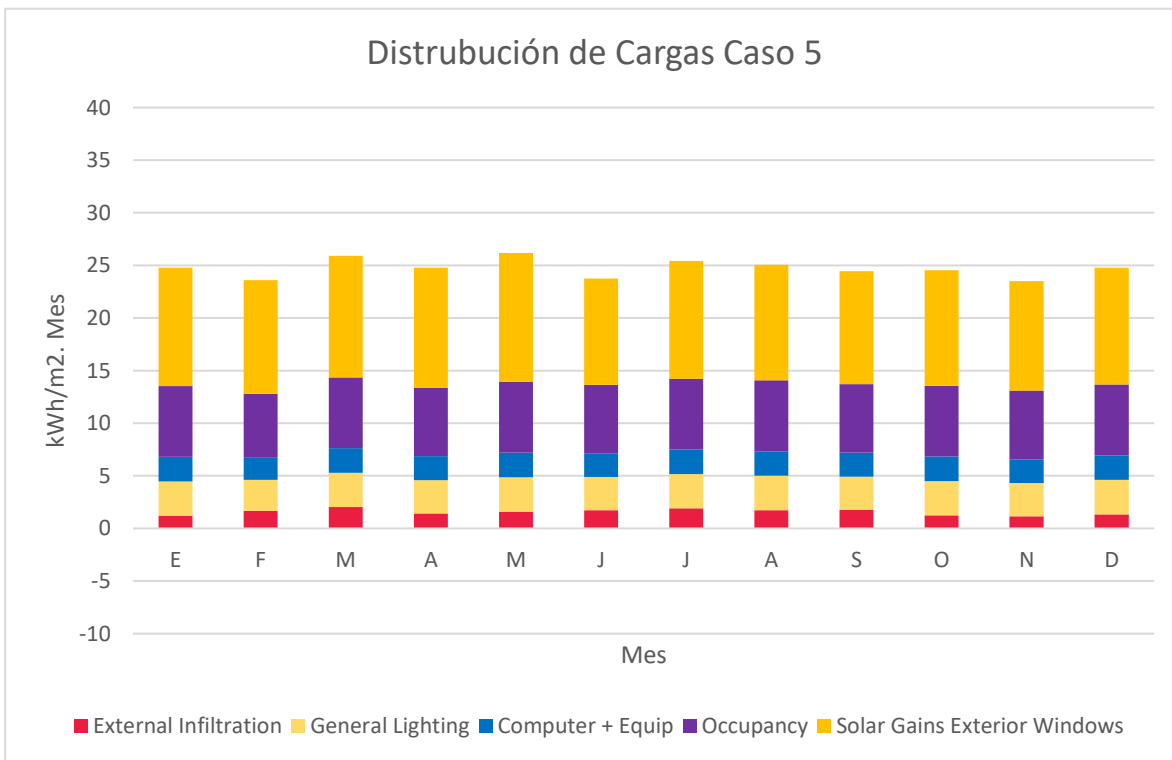


Figura 28. Distribución de Cargas, Bucaramanga Sin Cubierta Verde. Fuente. Elaboración Propia

### Distribución de Cargas Caso 6

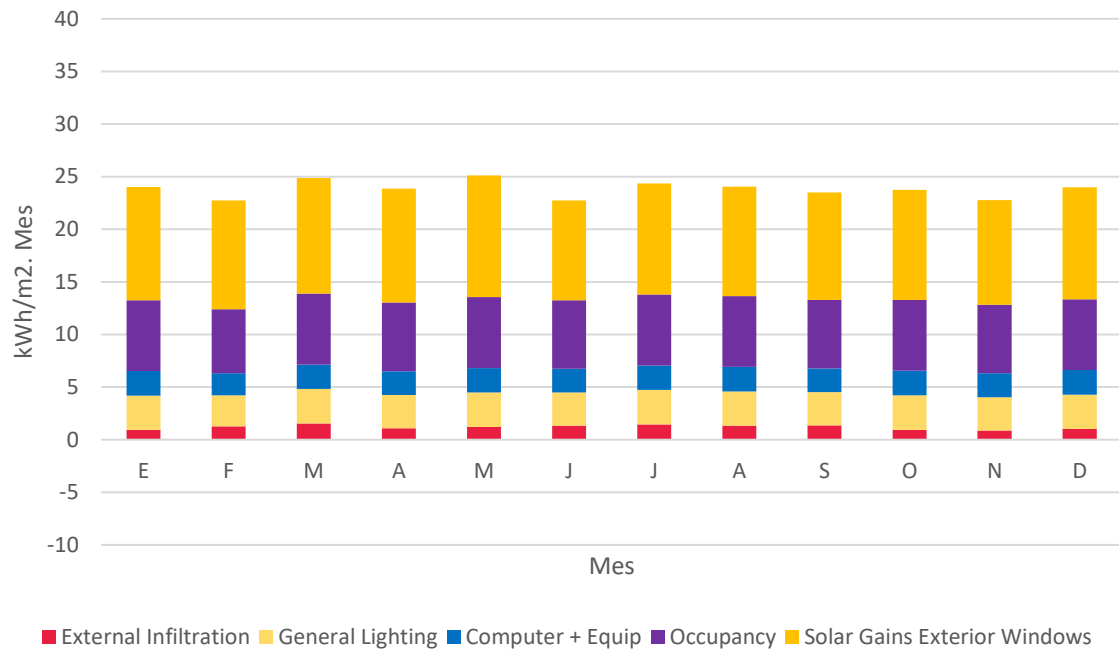


Figura 30. Distribución de Cargas, Bucaramanga Con Cubierta Verde. Fuente. Elaboración Propia

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La implementación de techos verdes para edificaciones de tipo comercial se presenta como una alternativa viable para reducir gastos energéticos y por consiguiente costos en términos de refrigeración, el impacto está ligado a las condiciones climáticas del entorno bajo el que se encuentra, los ambientes de temperaturas extremas de calor o frío debido a la aislación o barrera que genera entre la temperatura interna de la edificación y la temperatura ambiente son propicios para que el techo verde obtenga los mejores resultados en términos de ahorro de cargas y costos por climatización.

Los resultados de la implementación de la cubierta con techo verde en la ciudad de Bogotá muestran que las condiciones climáticas no son las más favorables si se tiene como finalidad reducir el consumo energético esto se debe al aislamiento generado por la cubierta del ambiente frío exterior que da como el resultado el incremento del calor al interior de la edificación y por consiguiente el aumento en gasto de sistemas de enfriamiento.

El balance energético anual hecho para las tres ciudades sugiere que el clima de la ciudad de Cartagena es uno de los ambientes propicios donde se obtienen beneficios netos en materia económica por la utilización de techos verdes, reduciendo en el caso de estudio un 13,4% de la energía requerida, que se traduce en la disminución del costo energético por el tiempo de 51 días aproximadamente en comparación con el gasto energético utilizando la cubierta convencional, además de mencionar todos los beneficios medio ambientales que conlleva utilizar este tipo de tecnologías.

Debido a la importancia del techo verde para la construcción sostenible se recomienda seguir evaluando casos de cubiertas con diferentes tipos de vegetación, es de gran importancia evaluar el comportamiento de los diversos tipos de plantas bajo diferentes climas para así identificar la condición más favorable u optima según sea el caso.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Agency, Segure Sustainable Together, World Energy Outlook, 2018.
- [2] K.Naidoo, «El cambio climatico,» Amnistía Internacional, 2019. [En línea]. Available: <https://www.amnesty.org/>. [Último acceso: 07 07 2020].
- [3] B. y. E. A. Enshassi, «Evaluación de los Impactos Medioambientales de los Proyectos de Construcción,» *Ingenieria de Construcción*, vol. 29, 2010.
- [4] D. S. Marín, «The Conversation,» The Conversation, 19 02 2020. [En línea]. Available: <Http://theconversation.com/>. [Último acceso: 20 07 2020].
- [5] M. Rahman, M. Rashul y M. Khan, «Energy Conservation Measures in an Institucional Building,» *Energy and Enviroment*, pp. 192-197, 2010.
- [6] C. Giraldo, C. Bedoya y A. Hernández, «Eficiencia Energetica en Viviendas de Interés Social,» *Greencities and Sostenibility*, pp. 155-180, 2015.
- [7] S. Vera, C. Pinto, F. Victorero, C. Bonilla, J. Gironas y C. Pinto, «Influencia de las características de la planta y el sustrato de los techos con vegetación en el rendimiento energético de un supermercado ubicado en clima semi árido,» *Energy Procedia*, pp. 1171-1176, 2015.
- [8] J. Rangel, P. Germán y G. Ordóñez, «Herramienta metodológica para la evaluación energética mediante simulación de deificaciones en el trópico,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, nº 2, pp. 259-268, 2019.
- [9] J. I. Pmbo Bettín, «Evaluación de cubiertas verdes como elemento de aislamiento térmico en edificaciones en clima tropical seco,» Bogotá, 2017, p. 164.
- [10] I. Zalbaza Bribián, «Adaptación de la metodología del análisis del ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energética y ambiental de la edificacion en España,» Zaragoza, Universidad de Zaragoza, 2011, p. 464.
- [11] E. Ordoñez y M. Perez, «Comparación del Desempeño Térmico de Techos Verdes y Techos Blancos Mediante Tecnicas IR,» Merida, 2015.
- [12] S. Diaz, Y. Muñoz y P. E. Ricaurte, «Implementacion de techos verdes en una empresa de transporte ubicada en la localidad de puente Aranda-Bogotá,» Bogotá, 2014.
- [13] O. Contreras y V. Paula, «Los Techos Verdes como Alternativas Sustentables para la Gestión Urbana y Mejora de la Calidad de Agua Lluvia en Bogotá,» Bogotá, Universidad Pontificia Javeriana, 2017, pp. 1-17.

- [14] G. Minke, «Tectos verdes Planificación, Ejecución y Consejos Practicos».
- [15] S. Ghazizadeh, H. Mahmuda y M. Aqeel, «Propuesta de Mejoramiento Tecnológico de Techos Verdes para el Clima Tropical Andino,» de *Ciencia e Ingenieria Neogranadina*, 2017.
- [16] Verdtical Magazine , «Verdtical Magazine,» [En línea]. Available: <https://verdticalmagazine.com/cubiertas-verdes/>. [Último acceso: 15 02 2021].
- [17] J. J. Cristobal, «Techos Verdes y sus Beneficios,» Lima, 2019.
- [18] B. Giobellina, A. Maristany, S. Angiolini, S. Medina, S. Pomazan, Y. Celiz y F. Marquez, «Rendimiento Termico de Cubiertas Verdes Sobre Techo de Chapa en la Ciudad,» Córdoba.
- [19] E. Ordoñez y M. Perez, «Comparación del Desempeño Térmico de Techos Verdes y Techos Blancos Mediante Tecnicas IR,» Merida, 2015.
- [20] P. Ramirez, «Evaluación Experimental de la Capacidad de Retención y Efectos en la Calidad del Agua de Escorrentía de Techos Verdes Modulares,» Bogotá, 2016.
- [21] U. BerardiAmirHosein, A. GhaffarianHoseini y A. GhaffarianHoseini, «State of Analysis of the Enviromental Benefits of Green Roof,» 2014.
- [22] K. Vijayaraghavan, «Green Roofs a Critical Review on the Role of Components,» Green Roofs, 2014.
- [23] S. Ghazizadeh y H. .: Mahmuda, «Performance of Green Roofs with Respecto to Water Quality and Reduction of Energy Consumption in Tropics: A Review,» 2015.
- [24] P. Garcia, «Construction 21 España,» [En línea]. Available: <https://www.construction21.org/espana/articles/h/el-objetivo-de-2020-los-edificios-de-consumo-casi-nulo.html>. [Último acceso: 10 03 2021].
- [25] DesignBuilder, «DesignBuilder,» [En línea]. Available: <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/modulo-simulacion>. [Último acceso: 10 03 2021].
- [26] D. Pascual, «DanielPascualArquitecto,» [En línea]. Available: <https://www.danielpascual.com/design-builder/>. [Último acceso: 10 04 2021].