

**IMPACTO DEL USO DE MUROS VERDES SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA
EDIFICACIÓN DE USO COMERCIAL EN BUCARAMANGA, SANTANDER.**

TITO LÓPEZ DIAZ 320608

LUIS ANGEL MEDINA MENESES 321931

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

2021

**IMPACTO DEL USO DE MUROS VERDES SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA
EDIFICACIÓN DE USO COMERCIAL EN BUCARAMANGA, SANTANDER.**

TITO LÓPEZ DIAZ 320608

LUIS ANGEL MEDINA MENESES 321931

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO
DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR

MARGARETH VIECCO MARQUEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

2021

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar estas líneas para agradecer a Dios por darnos la oportunidad de alcanzar esta meta, también el apoyo recibido por parte de nuestra familia, desde nuestros padres y hermanos hasta nuestras parejas que siempre han estado apoyándonos y motivándonos para alcanzar este objetivo.

A la Ingeniería Margareth Indira Viecco Márquez directora del proyecto de grado, quien brindó su conocimiento y su tiempo para lograr esta meta.

A nuestros profesores y compañeros por compartir todos sus conocimientos y experiencias, por todas sus enseñanzas que han sido tan valiosas para nuestra formación tanto académica como personal. Por todo esto darles las gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	ALCANCE	3
1.2.	OBJETIVOS	5
	OBJETIVOS GENERALES	5
	OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
2.	MARCO TEORICO	6
2.1.	Antecedentes.....	7
2.2.	Muros Verdes	10
2.3.	Tipos de Muros Verdes.....	11
	2.3.1. Fachadas Verdes	11
	2.3.2. Paredes Vivas	12
2.4.	Sistemas Constructivos	12
	2.4.1. Sistema de Cajas Modulares.....	12
	2.4.2. Sistema Hidropónico	13
	2.4.3. Sistema de Cables Trenzados.....	14
2.5.	Estructura de los Muros Verdes.....	15
2.6.	Beneficios de los Muros Verdes.....	16
	2.6.1. Biodiversidad Urbana	17
	2.6.2. Reducción de la Temperatura	17
	2.6.3. Protección Térmica	17
	2.6.4. Mejora la Calidad del Aire	18
	2.6.5. Variación en el Flujo del Viento	19
	2.6.6. Mitigación del Efecto de Isla de Calor.....	19
	2.6.7. Contaminación Acústica	20

2.7. Evaluación del Impacto a Nivel Urbano	20
2.7.1. Características	21
3. METODOLOGIA.....	23
3.1. Caso Base.....	24
3.1.1. Materialidad.....	26
3.1.2. Clima.....	31
3.1.3. Cargas Térmicas Internas.....	33
3.2. Estrategia Implementada.....	40
3.3. Casos Estudiados.....	43
4. RESULTADOS	45
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
6. BIBLIOGRAFIA.....	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Áreas y alturas de la edificación.	25
Tabla 2. Materialidad del caso base.	27
Tabla 3. Propiedades de los materiales.....	27
Tabla 4. Capas de los muros exteriores con el muro verde.	41
Tabla 5. Casos de simulaciones.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Museo QuaiBranly, Paris. Fuente Paisajismo digital.	7
Figura 2. Edificio Santalaia, Bogotá Colombia. Fuente: Paisajismo urbano.....	10
Figura 3. Ejemplo de un sistema de cajas. Fuente Verdicultura.	13
Figura 4. Ejemplo de un sistema de cajas. Fuente Inarquia.	13
Figura 5. Ejemplo de un sistema hidropónico. Fuente Paisajismo Urbano.	14
Figura 6. Ejemplo de un sistema de cables entrelazados. Fuente Inarquia.	15
Figura 7. Estructura de un muro verde. fuente: Inarquia.	16
Figura 8. Protección térmica de una fachada verde (kiessl y Rath, 1966).	18
Figura 9. Efecto de isla de calor. fuente: Natura medio ambiente.....	20
Figura 10. Diagrama de procesos.	23
Figura 11. Plano de planta del segundo piso.	24
Figura 12. Fachada frontal del modelo.	26
Figura 13. Muros exteriores del edificio.....	28
Figura 14. Muros internos del edificio.....	28
Figura 15. Muros enterrados del edificio.	29
Figura 16. Cubiertas del edificio.....	30
Figura 17. Losas de entre piso del edificio.	30
Figura 18. Losa sobre el terreno del edificio.....	31
Figura 19. Temperatura media de Bucaramanga, Colombia. Fuente: Weather Atlas	32
Figura 20. Configuración de archivo climático de Bucaramanga, Colombia.	33
Figura 21. Zona y actividad del Sótano 1 y 2.	34
Figura 22. Zonas y actividad del piso 1.	34
Figura 23. Zonas y actividad del piso 2 y 3.	35
Figura 24. Zonas y actividad del piso 4,5 y 6.	35

Figura 25.Zonas y actividad del piso 7..	36
Figura 26. Zonas y actividad del piso 8..	36
Figura 27.Zonas y actividad del piso 9..	37
Figura 28.Zonas y actividad del piso 10..	37
Figura 29.Zonas y actividad de la terraza.....	38
Figura 30. Planta Ixora. fuente: Flora & Fauna web.	42
Figura 31. Planta Zoysia Japónica. Fuente: Jardinería on.....	42
Figura 32. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde..	45
Figura 33. Comparación de gastos energéticos Mensuales sin y con muro verde.	46
Figura 34. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Este.	47
Figura 35. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Oeste.	48
Figura 36. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Norte.....	48
Figura 37. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Sur.....	49
Figura 38. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Este en porcentajes de coberturas.....	50
Figura 39. Comparación de la temperatura en el día más soleado.....	51

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: IMPACTO DEL USO DE MUROS VERDES SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA EDIFICACIÓN DE USO COMERCIAL EN BUCARAMANGA, SANTANDER.

AUTOR(ES): Tito López Díaz
Luis Ángel Medina Meneces

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Margareth Viecco Márquez

RESUMEN

Este proyecto de investigación tuvo como finalidad evaluar el impacto de los muros verdes teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la ciudad de Bucaramanga, Santander. El cual, se realizaron simulaciones energéticas de un edificio de uso comercial, comparando las dos situaciones sin muro verde y con muro verde, modificando la cobertura y la ubicación del muro para analizar el impacto en el consumo energético. Como resultado se obtuvo el consumo energético generado por el sistema de aire acondicionado, los cuales mostraron que hay un mejor impacto del muro verde cuando está ubicado en las fachadas Este y Oeste de la edificación, donde se puede ver una disminución de hasta 6,9% del consumo de energía, a comparación de las fachadas Norte y Sur, donde la reducción del consumo de energía era de hasta un 3,2%. Por lo tanto, las condiciones climáticas en las que está ubicado el edificio generan un impacto positivo del sistema de muro verde a la hora de reducir el consumo de energía.

PALABRAS CLAVE:

Muros verdes, Consumo energético, Climatización, Bucaramanga

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Impact of the use of green walls on energy consumption in a commercial building in Bucaramanga, Santander.

AUTHOR(S): Tito López Díaz
Luis Ángel Medina Meneces

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Margareth Viecco Márquez

ABSTRACT

The purpose of this research project was to evaluate the impact of green walls considering the climatic conditions of the city of Bucaramanga, Santander. Made Energy-thermal simulations of a commercial building comparing the two situations without a green wall and with a green wall, modifying the coverage and location of the wall to analyze the impact on energy consumption. As a result, the energy consumption generated by the air conditioning system was obtained, which showed that there is a better impact of the green wall when it is located on the East and West facades of the building, where a decrease of up to 6.9% of energy consumption, compared to the North and South facades, where the reduction of energy consumption was up to 3.2%. The climatic conditions in which the building is located generate a positive impact of the green wall system in reducing energy consumption.

KEYWORDS:

Green walls, Energy consumption, Air conditioning, Bucaramanga

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

La construcción y urbanización presente en las ciudades ha traído desarrollo y progreso a estas, pero el efecto de estas mismas genera un mayor consumo de servicios, una reducción de zonas verdes y mayor contaminación. El alto índice de edificaciones genera una mayor concentración de personas por lo que se requieren sistemas para climatizar el ambiente de manera artificial generando un mayor consumo energético.

En los últimos años se ha presentado un aumento en la temperatura ambiente (Flores, 2015) pues, en las ciudades se encuentran problemas de sobrecalentamiento y como resultado un deterioro en el confort térmico, ya que las zonas verdes en las áreas urbanas han disminuido debido a la gran demanda de construcciones (Maldonado, 2009). La acelerada urbanización ha incrementado la población y las edificaciones en las ciudades. La elevada concentración de edificios desencadena problemas ambientales como el efecto Urban Heat Island (UHI), que se ve afectada principalmente por la pérdida de áreas verdes. Además, genera un impacto en la salud, y en la calidad de vida de las personas (Hien, 2003).

Sin embargo, se sigue apostando por el uso de sistemas de climatización que representa un aumento en el consumo de energía en las edificaciones, con un porcentaje mayor al 70% (Cheng, 2008). Debido a un incremento constante en el precio de la energía, surge las alternativas de mitigar el uso y, por tanto, reducir los costos. En Colombia en el año 2020 se presentó un incremento en la demanda energética que estuvo por encima de las expectativas con un 4,02%. Esta cifra superó lo previsto por La Unidad de Planeación Minero-Energética (La República, 2020).

Por esta razón, se ha comenzado a analizar la posibilidad de implementar nuevas tecnologías que ayuden a crear temperaturas agradables en el interior de las edificaciones. Una de estas alternativas son las fachadas verdes que posee diversos beneficios como la reducción de la isla

de calor urbano, reducción en el consumo energético de edificaciones, mejoramiento en la calidad del aire y un mejor uso de agua pluviales. (Abdo, 2021). En esta investigación se busca analizar los impactos en el consumo de energía de una edificación de uso comercial y los beneficios que se pueden lograr en disminución de costos de energía. La edificación fue modelada con la ayuda del software Desing Builder, con el fin de concluir los beneficios que brinda esta nueva tecnología.

1.1. ALCANCE

En los últimos años, las acciones humanas relacionadas con los procesos de industrialización y planificación urbana han tenido un gran impacto en el medio ambiente, promoviendo y contribuyendo al calentamiento global. Este proceso se ve afectado por los gases de efecto invernadero (GEI) porque cambian el clima. Este fenómeno ambiental aumenta gradualmente la temperatura de la superficie de la tierra, afectando los seres vivos y el entorno que los rodea, ocasionando problemas de salud y provocando desastres naturales (Barrera, 1999). Además, del cambio climático, se identifican otras causas como el efecto de isla de calor que sumándole la falta de zonas verdes y el aumento de zonas grises (edificaciones). Estos efectos producen un aumento en la temperatura de las ciudades como lo es en Bucaramanga, ya que durante el día almacenan el calor y en el lapso nocturno expulsan al medio ambiente un calor urbano superficial (Higueras, 2006; Lopez, 1991). y como consecuencia, la demanda de energía cada vez será mayor. A su vez, el calentamiento aumentará en las ciudades y se evidenciará la necesidad de reducir el consumo de energía, lo cual, creará una dependencia de implementar mecanismos para poseer un control térmico. Entre diversas medidas de mitigación a esta problemática, están las infraestructuras verdes, las cuales han sido de impulso alrededor del mundo.

Colombia se ha concientizado de esta problemática y está buscando alternativas para mitigar estos efectos. Por ese motivo, es necesario proponer soluciones aplicando nuevas tecnologías como lo son las fachadas verdes, que consiste en usar esas áreas muertas de las edificaciones para plantar vegetación. El uso de estos sistemas vuelve a unir al ser humano con las zonas verdes que han sido reemplazadas por cemento en las ciudades. Estas fachadas verdes ayudan a mitigar las consecuencias por el efecto de Isla de Calor y los cambios climáticos. La vegetación ayuda a limpiar el aire, regular los niveles de escorrentía, mejoran la calidad de confort térmico en las edificaciones y contribuyen a disminuir el consumo de energía (Odum, 1994).

El alcance de este proyecto surge con la necesidad de evaluar el impacto de los muros verdes en una edificación de uso comercial, con un clima tropical como lo es el de la ciudad de Bucaramanga con la función de mitigar los consumos de energía y de la misma forma con la ayuda de software Desing Builder predecir comportamiento térmico de la edificación antes de la construcción de un muro verde.

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Evaluar el impacto del uso de muros verdes con respecto al consumo energético de un edificio de uso comercial en Bucaramanga, Santander.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Modelar un sistema de muros verdes para un edificio de uso comercial aplicando el uso del software Desing Builder.
- Evaluar el consumo energético del edificio con la implementación de muros verdes basado en los resultados adquiridos de las simulaciones en Desing Builder para este tipo de construcciones.
- Cuantificar y comparar los cambios de temperatura ambiente al interior de la edificación utilizando una fachada verde y una tradicional.

2. MARCO TEORICO

Para contrarrestar los efectos de las actividades del ser humano con el medio ambiente, surge una alternativa en el área de la construcción para hacerle una variación a los nuevos diseños de las edificaciones ya que en la actualidad el desarrollo de un país se centra en la mayor cantidad de obras grises lo cual va reduciendo el porcentaje de zonas verdes en la ciudad. Como resultado se comenzaron a usar las fachadas verdes que se han utilizado desde hace mucho tiempo debido a los bajos precios, a la disponibilidad de los materiales como las plantas y los sustratos de suelo, y a la capacidad de aislamiento térmico, en los países con temperaturas bajas como Alemania, Canadá, Islandia, Escandinavia, Países Bajos y USA (Susca, 2019). Esto con el objetivo de almacenar el calor en el interior de las edificaciones, mientras que los países con un clima tropical y temperaturas elevadas como México, Colombia, Brasil y Tanzania cumplan con la función de obstaculizar el paso directo del calor que proviene del exterior de la edificación (Minke, 2012).

En los últimos años, se ha observado una mayor demanda sobre los muros verdes o jardines verticales. El uso de esta tecnología se remonta a la edad media, donde se señala una de las maravillas del mundo como los jardines colgantes de Babilonia. A lo largo de la historia, se encuentran este tipo de tecnología en los diseños arquitectónicos griegos, en los jardines clásicos japoneses y como se muestra en la Figura 1. El diseño contemporáneo del museo Quai Branly en París, Francia (Lopez, 2016).



Figura 1. Museo QuaiBranly, Paris. Fuente Paisajismo digital.

2.1. Antecedentes

Alrededor del mundo se ha realizado en las últimas décadas investigaciones sobre el tema de fachadas verdes, lo que provoca un alto interés en esta nueva tecnología (Berardi, 2014). El uso de muros verdes trae diferentes beneficios como lo es la retención de aguas lluvias, disminución de la temperatura tanto en el interior como en el exterior de las edificaciones (Papaioannou, 2013). Además, el mitigar el efecto de isla de calor, mejorar la calidad del aire y aumentar la biodiversidad en las áreas urbanas. En Taiwán, Liu (2012) estudió a treinta y una especies de plantas de diferentes partes del mundo, pero con una particularidad en común de ser resistente a la intemperie. Con la ayuda de un sistema Computer-Aided Manufacturing (CAM), consiguieron disminuir y regular la temperatura de las casas, estos datos variaban dependiendo de la localización, áreas de vegetación, del calor y del índice foliar. Por lo tanto, estadísticamente se indicaron las especies de plantas con mayor efectividad para las fachadas verdes. Mientras tanto, Gedge (2004) estudió el efecto de “barrera aislante” en el interior y exteriores de las viviendas teniendo en cuenta los materiales usados en la investigación, haciendo variaciones en el espesor de las capas, tipos de sustratos y sus tamaños, tipo de vegetación y cantidad de riego. La

universidad Militar Nueva Granada, concluyeron que se alcanzó a regular un 0.2 °C en el interior y un 4.7 °C en exterior de las edificaciones.

A inicios del siglo XX, surgió un movimiento conocido por el nombre de “ciudad - jardín”, que tenía el propósito de cambiar la forma de desarrollo urbano encaminada a un modelo en que permitiera un mayor contacto con la naturaleza sin salir de la ciudad. Desde la iniciativa de este proyecto ha tenido un alto nivel de aceptación y ha colaborado a difundir sobre la tecnología de fachadas verdes. Además, el museo de Quai Branly en París, ha sido el icono de este movimiento, se inauguró en el 2004 y cuenta con un muro verde como se puede evidenciar en la Figura 1. El diseño de la fachada fue elaborado por el botánico Patrick Blanc que es el máximo referente en arquitectura verde (Franco, Pérez, Torrent, Alberto, & Fernández, 2008).

El botánico Patrick Blanc fue el primero en utilizar el término “muros verdes” o “jardines verticales” durante sus primeros trabajos para la Cité des Sciences de París en 1986. Esta nueva tecnología se presenta como un cambio a los sistemas de construcciones tradicionales. Primordialmente, consiste en el diseño y construcción de áreas verdes en un plano vertical, aunque no se trata de un invento nuevo, la implementación de plantas sobre las fachadas de los edificios es un ejercicio que se emplea desde hace muchos siglos y en diferentes partes del mundo. Además de los conocidos techos y muros verdes (fachadas verdes), con frecuencia se encuentra vegetaciones plantadas en el suelo y también en macetas, evidenciando la influencia que tiene la vegetación en el diario vivir de las personas. El propósito de emplear esta tecnología ha sido variado desde una ayuda medioambiental, hasta en lo estético y pasado por la siembra de alimentos (Franco, Pérez, Torrent, Alberto, & Fernández, 2008). En América, el uso de las fachadas verdes se originó en Estados Unidos, en donde se han realizado investigaciones acerca de la reducción de consumo de energía. Como resultado, se ha hallado variaciones de temperatura de más o menos 10 °C. Es importante destacar que esto se evidencia en las temporadas cálidas. Además, se encontraron reducciones de un 25% en el consumo de energía (Dvorak, 2009).

De igual manera el estudio de fachadas y muros verdes en las instituciones académicas en Colombia ha sido de gran interés, con el propósito de establecer la capacidad de reducción de la temperatura en las edificaciones y poder calcular los costos que ocasiona el uso de esta tecnología en climas tropicales, consiguiendo que este sistema sirva como protección solar, ayuda al comportamiento térmico en el interior de las edificaciones y sus costos son asequibles. Por ende, se estableció que las fachadas verdes como una alternativa eficiente ambientalmente, social y económica (Osuna, 2017; Duarte y Moreno, 2014). De igual forma, Natalie Crisancho Cleves, una estudiante de ingeniería civil de la Universidad Gran Colombia. Realizó un análisis comparativo de los beneficios y ventajas técnicas del uso de fachadas verdes en Bogotá. Comparando edificaciones que utilizan esta tecnología como lo son la Secretaría de Ambiente, Novartis y Edificio Novata. Comparó los beneficios planteados al inicio de cada construcción contra los beneficios que se habían logrado actualmente (Crisancho, 2011). La Universidad Pontificia Bolivariana en la seccional de Montería, se realizó un estudio para la implementación de fachadas verdes en el edificio administrativo ya que este presentaba una particularidad, según los estudios realizados esta edificación almacenaba todo el calor absorbido durante el día y en las noches se liberaba, aumentando así la temperatura en horas de la noche y forzando a un mayor consumo energético. Se realizaron las modelaciones y se evaluaron en las horas más críticas, de 10 am a 3 pm. Los análisis de los primeros resultados arrojaron cambios en la humedad relativa y en la velocidad del viento, siendo estas más altas y así mismo se redujo la temperatura en la edificación (Muñoz, 2013) .En la Universidad Pontificia Bolivariana un par de estudiantes de ingeniería civil para su trabajo de grado evaluaron la metodología de construcción de cubiertas y fachadas verdes para el uso de huertas urbanas en Bucaramanga con el fin de mitigar o disminuir la contaminación ya que el implemento de estas ha generado impactos positivos en la calidad del aire, un mejoramiento en las islas de calor, la contaminación auditiva y aprovechando así mismo el uso de estas para el consumo humano. (Patiño y García, 2019).

En Bogotá, Colombia se encuentra una edificación con un jardín vertical de más de 3.177 metros cuadrados lo cual contribuye a una mejora del confort térmico del edificio, lo que según la revista Green Roofs lo convierte en uno de los más grandes del mundo (Paisajismo urbano, 2016).



Figura 2. Edificio SantaLaia, Bogotá Colombia. Fuente: Paisajismo urbano.

Es poca la información que se ha generado en Colombia sobre este tema y sobre todo con los cambios de temperatura utilizando las fachadas verdes, pero cabe destacar que alrededor del mundo los estudios previamente hechos y evaluados, se ha demostrado sus beneficios con un alto índice de efectividad en las zonas urbanas y con climas cálidos, de igual manera se evidencia el mejoramiento en el confort térmico de las edificaciones.

2.2. Muros Verdes

Los muros verdes son una tecnología que se instala verticalmente en el cual tiene una variedad de especies de vegetación, también son conocidos como jardines verticales o fachadas verdes, se ha convertido en una alternativa arquitectónica cada vez mayor en las construcciones sostenibles (Berardi, 2014). Las fachadas verdes crean un agradable espacio paisajístico dentro de las ciudades y aporta varios beneficios desde la perspectiva del desarrollo sostenible. Existen

numerosos sistemas de construcción que presentan una serie de soluciones que se moldean al proyecto en función de sus necesidades, condiciones climáticas, diseño del edificio y el presupuesto.

A la hora de la instalación de esta tecnología es importante tener en cuenta que los muros verdes se pueden presentar al exterior o incluso en el interior de las edificaciones ya que uno de sus beneficios es conservar un ambiente más fresco y limpio. Además, dentro de esta nueva tecnología se encuentran tres tipos de sistemas: el sistema hidropónico, sistema de cajas y sistemas de cables (Decologia, s.f.). Todos tienen en común los elementos que hacen parte de la estructura: el sustrato, la vegetación y muro de soporte. Por otro lado, este tipo de tecnología tiene una demanda elevada a la hora de mantenimiento es importante mantener la vegetación en las mejores condiciones para una mayor vida útil. En pocas palabras un muro verde genera un cambio visual en el entorno y múltiples beneficios medio ambientales, incluyendo una mejora en el comportamiento térmico de la edificación.

2.3. Tipos de Muros Verdes

En los diferentes tipos de muros verdes la vegetación se puede encontrar en las diversas superficies verticales, ya sea en el interior o en la fachada de la estructura.

2.3.1. Fachadas Verdes

Estas fachadas están compuestas primordialmente por plantas trepadoras las cuales se pueden acondicionar a la fachada sin necesidad de un mecanismo adicional ya sea el uso de un enrejado, una malla o un soporte ya que van enrizadas al suelo. De igual manera cada planta tiene diversas maneras de adherirse a las paredes y esto las hace necesitar de soportes de manera vertical u horizontal (Pérez, 2018).

2.3.2. Paredes Vivas

En este sistema se encuentran paredes vivas continuas las cuales pueden estar conformadas por capas de geomembrana, en donde las plantas están enraizadas directamente en la estructura, o pueden estar conformadas por bloques de concreto caso en el que las raíces de las plantas están en el medio del crecimiento, previamente añadidas a la estructura. Para este tipo de muro puede ser utilizada cualquier tipo de planta, el único factor para tener en cuenta sería el peso de esta; los medios de crecimiento pueden ser utilizados materiales orgánicos como grava, suelo mineral, arena, lana mineral, fibra de coco y perlita. Este tipo de muro suele ser muy utilizado con el sistema hidropónico (Pérez, 2018).

2.4. Sistemas Constructivos

2.4.1. Sistema de Cajas Modulares

Este tipo de sistema son las más comunes para instalaciones provisionales. El sistema de cajas en comparación a los demás sistemas es el más sencillo a la hora de colocar y cambiar. En este sistema se recomienda usar especies de plantas pequeñas, ya que el espacio de las raíces es muy reducido por ese motivo es necesario cada determinado tiempo remover la vegetación y poner una vegetación nueva (Cynamon, 2008).

A la hora de la construcción este sistema tiene bloques de polietileno que tienen alta resistencia a la radiación UV (radiación ultravioleta), lo cual proporciona que los rayos del sol no alcancen directamente a la edificación. Cada bloque es una caja donde se deposita sustrato que mantiene las plantas con nutrientes constantemente. De igual manera es necesario implementar un sistema de riego para conservar las plantas en buen estado en temporadas de poca lluvia. También se implementa una estructura de soporte de tubos que por medio de ganchos sostienen los bloques (Urrestarazu et al., 2014).

En la Figura 3 se muestra un sistema de cajas modular en un muro externo, en el cual se debe de tener en cuenta que la estructura de soporte es de un acero inoxidable para que con el tiempo la lluvia no perjudique la vida útil de la estructura. Mientras que en la Figura 4 se encuentra el mismo sistema, pero en un muro interior, en el cual no se ve amenazado por la lluvia.



Figura 3. Ejemplo de un sistema de cajas. Fuente Verdicultura.



Figura 4. Ejemplo de un sistema de cajas. Fuente Inarquia.

2.4.2. Sistema Hidropónico

En este sistema de muros verdes tiene la ventaja de imitar el crecimiento de la vegetación en condiciones naturales. Por lo tanto, se tiene una gran variedad de plantas que cumplen con los requisitos de instalación, ya que a diferencia del sistema de cajas este sistema no tiene un

espacio establecido para las raíces por lo cual las raíces de las plantas se pueden extender por toda la fachada vertical (Cynamon, 2008). Este sistema es el más liviano a comparación de los otros métodos, sin embargo, demanda un mantenimiento más frecuente.

Es necesario que este sistema se encuentre unido a la fachada del edificio, ya que se debe de colocar una estructura en acero inoxidable para que la lluvia no ocasiona daños y la implementación de unas laminas impermeables donde se encuentran unos compartimientos donde se coloca y se da inicio al crecimiento de las plantas.



Figura 5. Ejemplo de un sistema hidropónico. Fuente Paisajismo Urbano.

2.4.3. Sistema de Cables Trenzados

Es un sistema constructivo fácil de instalar a comparación de los otros sistemas, ya que se usan mayas de acero inoxidable que están sujetas a la fachada del edificio, mientras tanto la vegetación va creciendo y se va enredando en la estructura enmallada. Este sistema proporciona una gran variedad de especies de plantas que se pueden colocar ya que la carga que le suministra al edificio es muy baja, mientras que el mantenimiento es económico, porque es

fabricado con materiales como las mallas y cables que tienen una vida útil muy larga, pero es necesario construirle un sistema de riego, para poder nutrir la vegetación con los nutrientes necesarios para que se encuentren en buen estado las plantas.

Una ventaja de este sistema constructivo es que su costo a la hora de instalación y mantenimiento son muy bajos, lo que hace un balance adecuado en presupuesto y beneficios ambientales. Mientras que un punto negativo es que este sistema demanda mucho tiempo para que la vegetación llegue a cubrir toda la fachada del edificio.



Figura 6. Ejemplo de un sistema de cables entrelazados. Fuente Inarquia.

2.5. Estructura de los Muros Verdes

Un sistema de muro verde hidropónico conformado por una serie de capas que cumplen con una función establecida para que en conjunto el muro verde tenga un buen rendimiento y funcione adecuadamente como se puede observar en la Figura 7. (Inarquia, s.f.).

- Capa de soporte. Una estructura de acero para soportar las capas siguientes
- Capa impermeable. Impide que el agua haga contacto con el soporte y la fachada del muro.

- Capa geotextil. Almacena el suelo e impide que las partículas finas sean transportadas por el agua.
- Capa vegetal. Área donde se encuentra las especies de plantas.



Figura 7. Estructura de un muro verde. fuente: Inarquia.

2.6. Beneficios de los Muros Verdes

Los edificios de alta concentración que requieren sistemas de aire acondicionado y el tráfico rodado producirán grandes cantidades de elementos nocivos y consumirán oxígeno en las ciudades. Esto, sumando a las extensas superficies de hormigón y asfalto que componen la piel de la ciudad, puede provocar un aumento en el calentamiento de la atmosfera, creando vórtices de polvo y partículas provocadas por el calor (Minke, 2012). Por el contrario, los muros verdes aportan beneficios medioambientales en el ámbito social, económico y ecológico. Contribuye a

reducir la temperatura ambiental, promueven la biodiversidad y depuran el aire entre otros. Este tipo de tecnología es parte de un sistema sustentable (Bosch, 2018). A continuación, se especifican los principales beneficios de los muros verdes:

2.6.1. Biodiversidad Urbana

El incremento de la fauna y flora han sido tema de estudio en las fachadas verdes, por lo que se cree que se puede inferir a las fachadas verdes. Además, esta vegetación puede servir como hábitat de especies como lo son las aves, mariposas e insectos, ya sea el caso de forma permanente o como zonas de tránsito entre áreas verdes (Sempergreen, s.f.).

2.6.2. Reducción de la Temperatura

Con el proceso del ciclo del agua y la función clorofílica (fotosíntesis), las plantas tienen la capacidad de mitigar el calor del medio ambiente y de disminuir las temperaturas, pueden absorber la luz solar hasta un 50%, se reflejan un 30% y solo un 20% de la radiación solar alcanzan las fachadas de la edificación directamente, lo que ayuda a producir un mejor clima. Los muros verdes en climas cálidos mitigan la entrada de calor del exterior, mientras que en climas fríos mantiene el calor en el interior. Con la presencia de plantas se puede conseguir una reducción en la temperatura ambiental de 1° a 5°C. Se estima que una reducción de 5°C de la temperatura exterior se obtendría beneficios de ahorro de energía en aires acondicionados de hasta un 50% (Minke, 2012).

2.6.3. Protección Térmica

Las construcciones empleando vegetación se han utilizado desde hace mucho tiempo con el objetivo de brindar una mejor calidad en el confort térmico de las estructuras. Por esta razón esta tecnología está siendo acogida en varios países. Ya que los edificios que se han construido con materiales tradicionales absorben el calor del día y las temperaturas internas varían lo que

provoca a los residentes usar aparatos electrónicos para mantener un entorno confortable. Mientras que la implementación de un muro verde puede reducir la temperatura hasta de $0,4^{\circ}\text{C}$, por lo tanto, se puede conseguir un ahorro de energía hasta de un 8% (Dunnett; Kingsbury, 2008). Ya que el volumen de plantas establece un espacio de aire que brinda un aislamiento térmico, igualmente, produce sombra a la fachada y absorbe energía solar gracias a la función clorofílica (fotosíntesis). Así como Kiessl y Rath (1966) llevaron a cabo investigaciones que se hicieron en una fachada verde en Alemania, lo cual, di como resultado que el 50% de la energía solar era retenida por las plantas, el 30% era reflejado y solo un 20% de luz solar alcanzaba la fachada directamente (ver Figura 8) (López, s.f.).



Figura 8. Protección térmica de una fachada verde (López, s.f.).

2.6.4. Mejora la Calidad del Aire

Las enfermedades cardíacas y respiratorias entre otros problemas de salud son ocasionados en parte por la contaminación urbana, en las ciudades se ha visto un aumento en la contaminación del aire por la industrialización (Viecco, 2021). Las plantas tienen la capacidad de mitigar las consecuencias que produce la contaminación. Ya que las partículas de polvo se pegan a las hojas y luego son desplazadas por la lluvia hasta los sustratos. También, ocurre el proceso

de metabolización gracias a las microfloras de los hongos y de las bacterias que están en el suelo. Del mismo modo, las plantas tienen la capacidad de impregnar ciertas sustancias en sus tejidos (Viecco, 2021) de modo que en áreas con vegetación hay una aglomeración de microiones negativos, que son adsorbidos por las vías respiratorias y que tienen un efecto positivo sobre la salud (Groult, 2010). Como resultado se estima que en 10.000 Metros cuadrados de zona verde se puede absorber hasta 7.500 Kilogramos de Dióxido de carbono (CO₂) por año (Portilla, 2013). Por tal motivo es necesario brindar zonas verdes dentro de las ciudades.

2.6.5. Variación en el Flujo del Viento

Los muros verdes generan una rugosidad en las superficies que disminuye la velocidad del viento, este efecto es un beneficio muy importante ya que cuando hay velocidades muy altas, tiene como consecuencia una disminución del aislamiento térmico. Igualmente, la caída de temperatura ambiente ocasionada por las plantas origina flujos de aires con diferentes temperaturas de manera que entran en equilibrio, formando flujos circulares de aire natural con el objetivo de refrescar la zona (Ottelé, 2011).

2.6.6. Mitigación del Efecto de Isla de Calor

Este efecto se origina con el aumento de la población en áreas urbanas, que ha producido una serie de cambios ambientales, debido a una demanda masiva de construcciones grises que es la causante de reducir las áreas verdes lo que provoca una contaminación ambiental. todo esto provoca una transformación en el cambio del clima y da origen al fenómeno conocido como “Isla de calor” (Sharma, 2018). La forma como se divide la temperatura en las superficies de las áreas urbanas (ver Figura 9). Vías, techos, fachadas, etc. Representa una acumulación muy alta de calor, la cual con el tiempo tiende a emitirlo nuevamente al ambiente en forma de ondas de radiación. La alternativa de usar las áreas muertas de los edificios para colocar zonas verdes es

una de las soluciones más efectiva para comenzar a mitigar el efecto de isla de calor. Ya que las vegetaciones tienen facultad de disminuir la temperatura de un 3% hasta un 5% (Berardi, 2014).

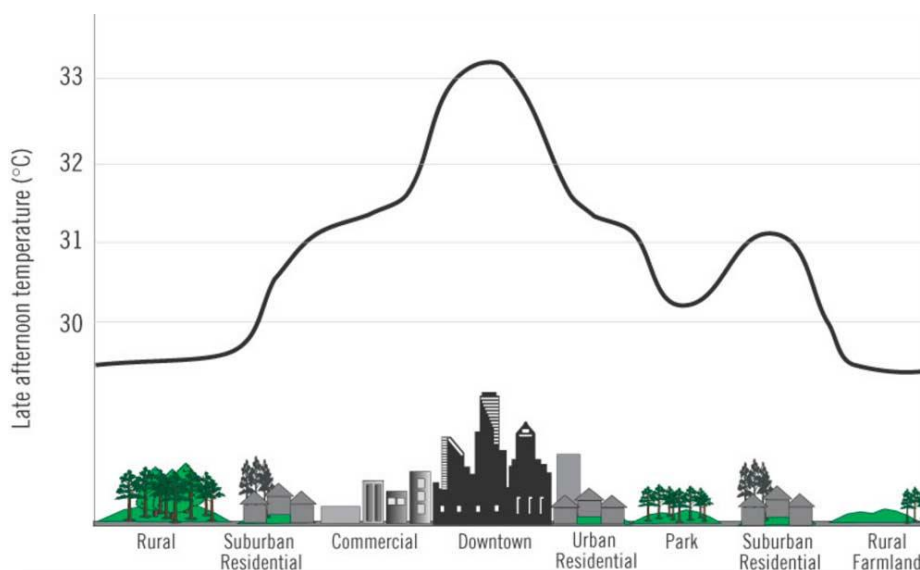


Figura 9. Efecto de isla de calor. fuente: Natura medio ambiente.

2.6.7. Contaminación Acústica

Con el pasar de los años se ha evidenciado un incremento de población en las ciudades, por tan motivo la demanda de nuevas construcciones como edificaciones, vías y áreas industriales. Han disminuido las zonas que estaban planificadas para la vegetación. Por este motivo las personas están propensas a tener problemas de salud como la pérdida de audición y la pérdida de sueño por la contaminación acústica en su día a día (Wong, 2010). La capacidad que tienen las plantas para reducir e intercambiar los ruidos por sonidos más satisfactorios para el ser humano, como el sonido de los animales, el de las hojas y las ramas en movimiento.

2.7. Evaluación del Impacto a Nivel Urbano

Para llevar todo esto a un nivel urbano los análisis se basan en la mecánica de fluidos computacionales, hay una variedad de herramientas que permiten realizar estos análisis entre ellos el modelo de CFD (Dinámica de fluidos computacionales) Desing Builder es una

herramienta genérica de simulación energética, la cual permite evaluar el impacto del uso de nuevas tecnologías en una edificación antes de ser implementadas, ya que permite evaluar las condiciones medio ambientales dentro de una edificación, las funciones brindan la oportunidad de generar resultados de consumos de energéticos, pérdidas y ganancias de calor de diferentes superficies. Ideado para facilitar los procesos de simulación, ya que cuenta con múltiples módulos de análisis integrados entre sí, lo que significa un alto nivel de productividad y de eficiencia al simular los proyectos deseados. Estas simulaciones se pueden implementar para varios años de tal modo que se pueda identificar las variables de diseño que tengan más impacto en nuestra edificación.

Desing Builder cuenta con el acceso al motor de cálculo de EnergyPlus, el cual permite ejecutar diferentes tipos de simulaciones energéticas. Posee un visualizador de resultados con el que se puede observar y comparar cualquier simulación previa, en especial, la temperatura, humedad y consumo energético. Para el desarrollo de estas simulaciones el modelo está basado en las leyes de la termodinámica, la ecuación de energía y la ecuación de continuidad.

El modelo de CFD de Desing Builder ha sido validado en distintas partes del mundo y ha sido comparado con el programa Phoenix, un software con uno de los paquetes genéricos de CFD más reconocidos y usado en la actualidad con resultados similares a los de Desing Builder (Universidad de Northumbria, s.f).

2.7.1. Características

Entre las características más importantes del modelo de CFD de Desing Builder se encuentran las siguientes:

- El modelo permite evaluar el desempeño de las infraestructuras, integrando los consumos de energía, emisiones de carbono, ganancias y pérdidas de calor en las superficies. Es posible reunir los datos en diferentes lapsos de tiempo: anual, mensual, diario y horario.

- Se tiene acceso a estrategias y sistemas que ayudan al ahorro de energía, como fachadas verdes y vidrios dinámicos, entre otros.
- Es posible obtener los resultados específicos de cada superficie como la radiación solar y determinar las temperaturas internas y externas superficiales.
- Facilidad a la hora de importar archivos de BIM y CAD para modelar edificaciones con el mínimo de esfuerzo y tiempo.
- Permite ejecutar múltiples simulaciones al mismo tiempo, tanto en una red local o en un servidor remoto.
- Optimizar la edificación en cualquier etapa de construcción según la necesidad del operador.

3. METODOLOGIA

En el siguiente capítulo se especifica los procesos que se desarrollaron para llevar a cabo el objetivo general del proyecto. En la Figura 10 se muestra la metodología de investigación y se describen las características más importantes.

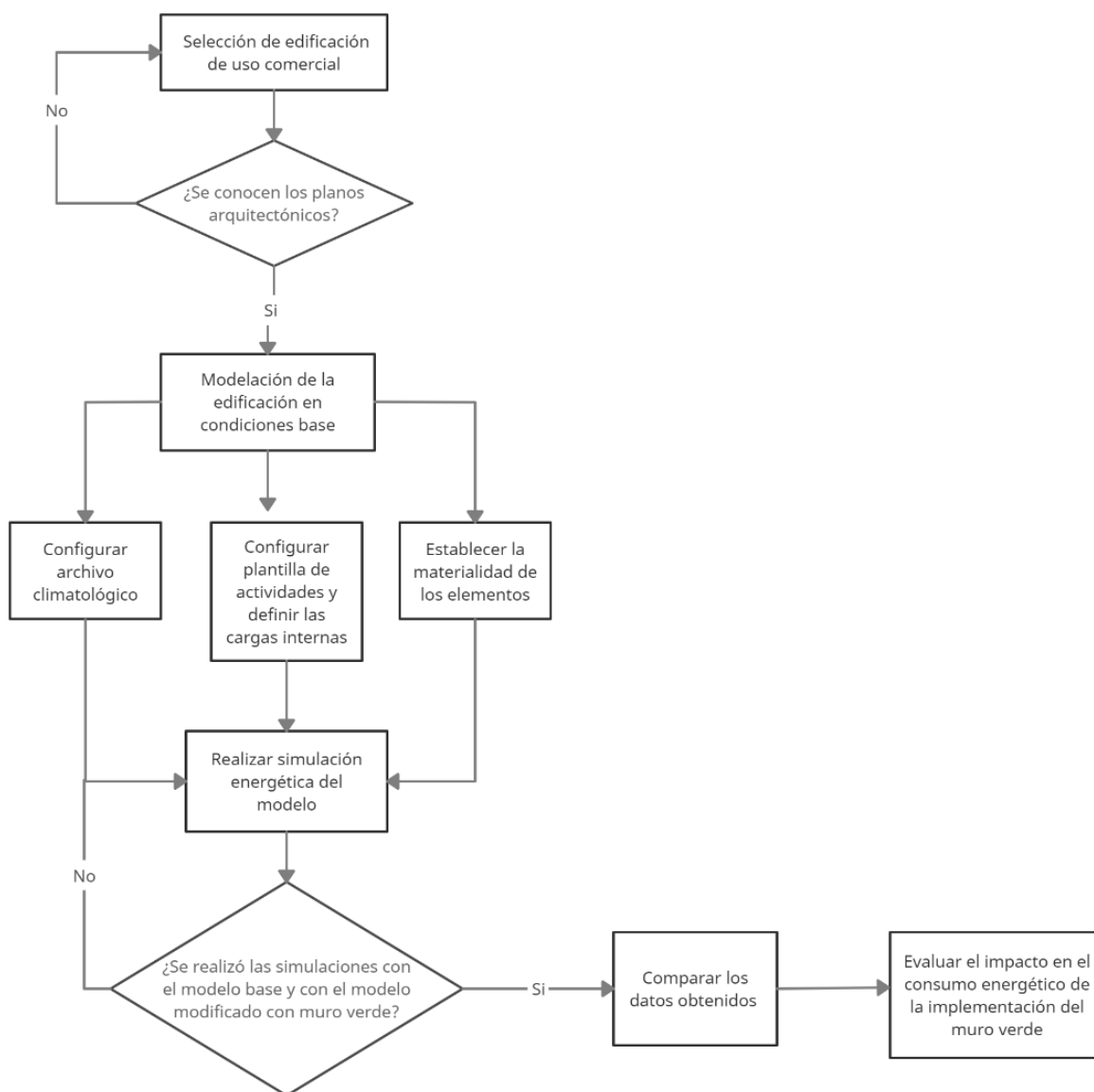


Figura 10. Diagrama de procesos. Fuente: Propia.

3.1. Caso Base

A partir de los planos arquitectónicos de la edificación se inicia la elaboración de la geometría del edificio en Desing Builder, ya que el software cuenta con la opción de cargar archivos en .dxf. los cuales se pueden usar como referencias para diseñar los elementos que conforman el modelo con las mismas dimensiones reales como se puede observar en la Figura 11.

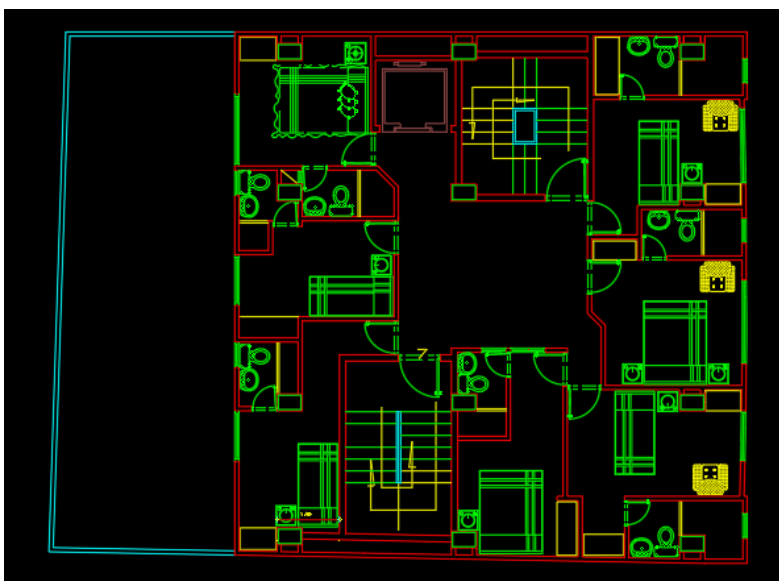


Figura 11. Plano de planta del segundo piso. Fuente: propia

Por tanto, con el dibujo en 2D (archivo .dxf) se procede a levantar un nuevo edificio teniendo como referencia los vértices de la plantilla. Los planos brindaron la información de áreas construidas y las alturas de cada piso como se muestra en la Tabla 1. El caso de estudio es una edificación de uso comercial con fines de hotelería que cuenta con dos sótanos para parqueaderos, diez pisos con diferentes actividades como los son dormitorios, gimnasio, restaurante y una terraza adicional. En el primer piso se encuentra la recepción y el lobby del hotel; la edificación se compone de 34 habitaciones con baño privado que van distribuidas de la siguiente manera: pisos 2-6, cinco habitaciones y en los pisos 7-9, tres habitaciones. En el piso 8, adicional a las habitaciones se encuentra una oficina con su baño privado. En el piso 10, se

sitúan los espacios destinados para el gimnasio y el cuarto de máquinas. Finalmente, en la terraza se encuentra el restaurante con disponibilidad de dos baños.

Tabla 1. Áreas y alturas de la edificación. Fuente: Propia

	Área (M2)	Altura (M)
Sótano 1	190,7012	2,7
Sótano 2	190,7012	2,7
Piso 1	190,7012	4
Piso 2	150,1317	2,7
Piso 3	150,1317	2,7
Piso 4	150,7382	2,7
Piso 5	150,7382	2,7
Piso 6	150,7382	2,7
Piso 7	114,0233	2,7
Piso 8	118,037	2,7
Piso 9	111,1241	2,7
Piso 10	111,0272	2,7
Terraza	58,4818	2,7

Una vez levantada la estructura de la edificación (ver Figura 12) y se colocan los bloques en la posición correcta, con la opción de “Dibujar particiones” se procede a crear los espacios internos y sus respectivas separaciones.



Figura 12. Fachada frontal del modelo.

Como el diseño de la edificación no muestra elementos constructivos complicados a la hora de modelar, se usó la opción de “bloques de edificio” ya que son elementos en 3D los cuales se les pueden modificar sus propiedades físicas y mecánicas.

3.1.1. Materialidad

Los parametros constructivos tienen un alto nivel de importancia a la hora de analizar los consumos de energia. Por tal motivo se tomó una solución constructiva como se muestra en la Tabla 2, donde se puede ver los detalles de la materialidad y en la Tabla 3, se puede ver las propiedades de los materiales.

Tabla 2. Materialidad del caso base. Fuente: Propia

Materialidad del caso base					
	Capa 1 (externa)	Capa2	Capa3	Capa 4	Capa 5 (interna)
Muros externos	Piedras	Mortero	Mampostería	Mortero	Capa de yeso
Muros internos	Capa de yeso	Mortero	Mampostería	Mortero	Capa de yeso
Muros enterrados	Hormigón				
Aberturas	Vidrio simple 3 mm				
cubierta	Asfalto	Hormigón	Cámara de aire	Capa de yeso	
Losas	Capa de yeso	Cámara de aire	Hormigón	mortero	Baldosas de cerámica
losa sobre terreno	Suelo	Hormigón	mortero	Baldosa	

Tabla 3. Propiedades de los materiales. Fuente: Propia.

	Calor Especifico (J/kgK)	Conductividad (W/mK)	Densidad (K/m3)
Mortero cemento	920	0.72	1620
Concreto	840	0.16	500
Ladrillo	840	0.72	1920

a) Muros Exteriores

Se empleó un método de construcción tradicional para cada elemento de la edificación, los muros exteriores esta conformados por 5 capas, de la más internas a externas, se encuentra una capa de un 2 cm de yeso, luego se aplicó un friso de un 1 cm a cada lado para nivelar las caras de la capa de mampostería y por último la capa más externa que se usó una piedra artificial (ver Figura 13).

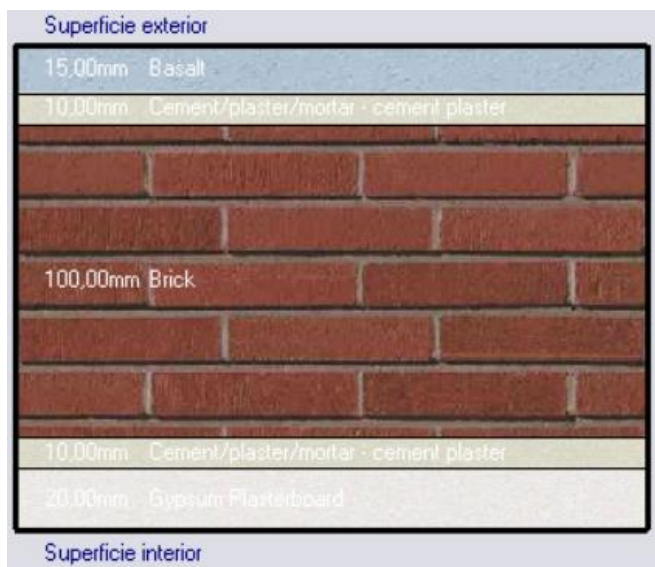


Figura 13. Muros exteriores del edificio. Fuente: Propia

b) Muros Internos

Las particiones de la edificación cuentan con una sola materialidad sin importar las actividades de cada zona, por lo tanto, estas particiones se realizaron con una capa principal de mampostería y a cada lado se le agregó una capa de friso para nivelar y luego proceder con una capa de yeso (ver Figura 14).

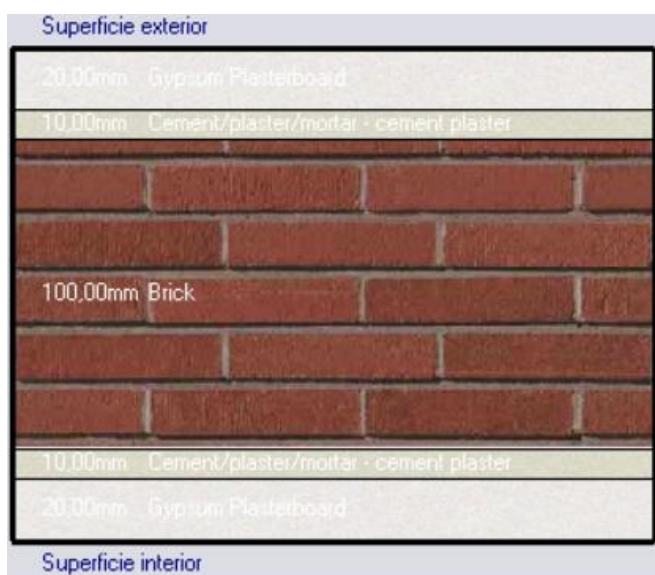


Figura 14. Muros internos del edificio. Fuente: Propia.

c) Muros Enterrados

Estos tipos de muros por estar bajo tierra y por la actividad de la zona (área de parqueo) se empleó una sola, la capa de concreto de 20 cm como se muestra en la Figura 15. además, a este muro no se le agregaron más capas ya que por ser menos transitado, y por su actividad sería aumentar los costos en materiales.



Figura 15. Muros enterrados del edificio. Fuente: Propia.

d) Cubierta

Esta estructura es muy similar a las losas interiores de la edificación, ya que presenta una capa inferior de yeso como un cielo raso, luego se tiene un vacío de aire de 20 cm con la función de pasar cables o elementos de la ventilación, posteriormente se encuentra una losa maciza de concreto de 10 cm y como última capa se tiene asfalto como impermeable (ver Figura 16).



Figura 16. Cubiertas del edificio. Fuente: Propia.

e) Losas de Entre Pisos

Las placas interiores de la edificación al igual que la cubierta tienen una capa de yeso como un cielo raso, que se encuentra colocado después de pasar una capa de aire de 20 cm, además de una losa de concreto macizo de 10 cm y como capas más externas se logra ver unas baldosas de cerámica (ver Figura 17).



Figura 17. Losas de entre piso del edificio. Fuente: Propia

f) Losa Sobre el Terreno

La losa sobre el terreno se encuentra sobre una capa de hormigón de 15 cm que es una losa maciza, y en la capa más interna baldosas de cerámica (ver Figura 18).

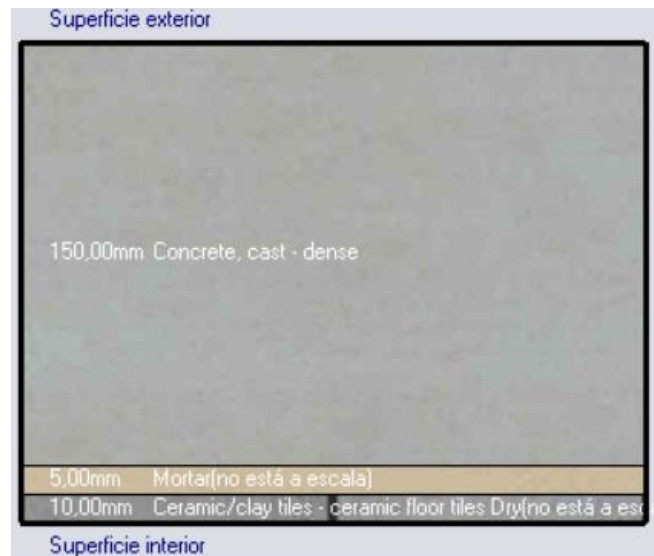


Figura 18. Losa sobre el terreno del edificio. Fuente: Propia

g) Aberturas

La edificación presenta aberturas, para la ubicación de vidrios, en la parte principal de toda la fachada y en algunas partes de la fachada posterior del edificio, por tanto, se utilizó un vidrio simple de 3 mm en todas las aberturas de la fachada.

3.1.2. Clima

La edificación se encuentra ubicada en la ciudad de Bucaramanga que está al nororiente del país sobre la cordillera oriental en el departamento de Santander, Colombia. El municipio tiene una latitud de 7° 7' 31.4" Norte y una longitud de 73° 7.188' Oeste y se encuentra a 959 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar).

Para poder llevar un proceso de simulación lo más cercano a la realidad es necesario tener datos climatológicos del área de estudio, en cual se empleó la información del clima entre los

años 2005 y 2018 que brinda la página web Climate.Building.org. También es necesario conocer las características del clima como lo son la temperatura y la humedad del municipio. Se puede observar que la ciudad de Bucaramanga tiene un clima tropical, pero en ciertas partes de la ciudad se pueden encontrar un cambio de templado a cálido. Por otro lado, la temperatura promedio de la ciudad se encuentra en 23.4°C (ver Figura 19).

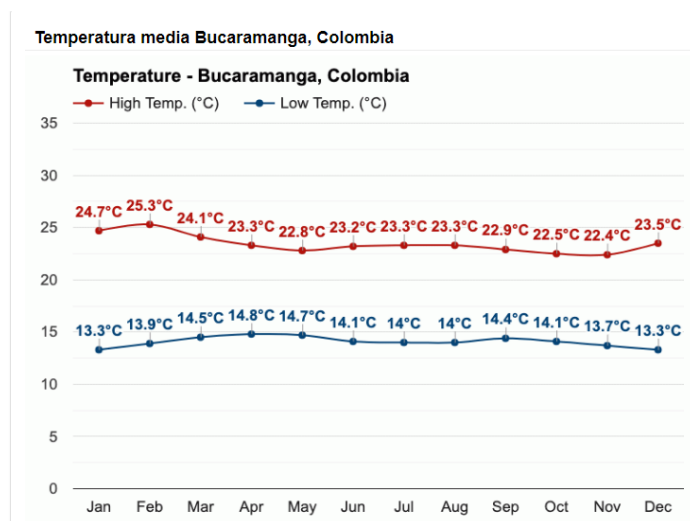


Figura 19. Temperatura media de Bucaramanga, Colombia. Fuente: Weather Atlas

En la Figura 19, se puede evidenciar la temperatura por mes de la ciudad de Bucaramanga, donde las temperaturas máximas se encuentran en los primeros meses del año, donde varían entre 24 y 26 grados. Es lo que le da una sensación a la ciudad de un fuerte calor. Además, en la Figura 20, se puede ver el archivo climatológico configurado en Desing builder.

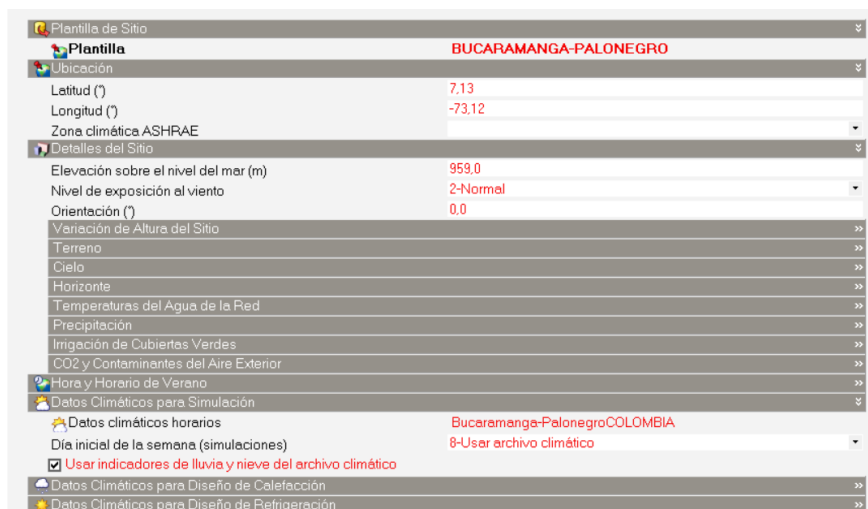


Figura 20. Configuración de archivo climático de Bucaramanga, Colombia. Fuente: Propia.

3.1.3. Cargas Térmicas Internas

Con los datos climatológicos de la zona de estudio y los elementos constructivos de la edificación ya definidos, se comienza a establecer los datos necesarios para cuantificar las cargas que van asociadas con la iluminación, ocupación, misceláneas y cocina. En esta etapa es crucial introducir los valores más cercanos a la realidad para lograr una simulación óptima, se tuvo en cuenta de colocar la actividad específica en cada zona (ver Figuras 21 a 29). En el proyecto se encontraron las siguientes actividades por zonas:

- Pasillos y zonas comunes: Distribuidos a través de todo el edificio los cuales llevan a las habitaciones y diferentes zonas de la edificación.
- Escaleras y ascensores: Dos ascensores y una escalera de emergencia
- Restaurante: Ocupación frecuente durante las horas claves del día.
- Gimnasio: Menor ocupación que el restaurante. Uso esporádico
- Parqueaderos: Uso esporádico durante el día y continuo en la noche.
- Habitaciones: Ocupación máxima en horas de la noche.

- Oficinas: Zonas con gran cantidad de equipo eléctrico.

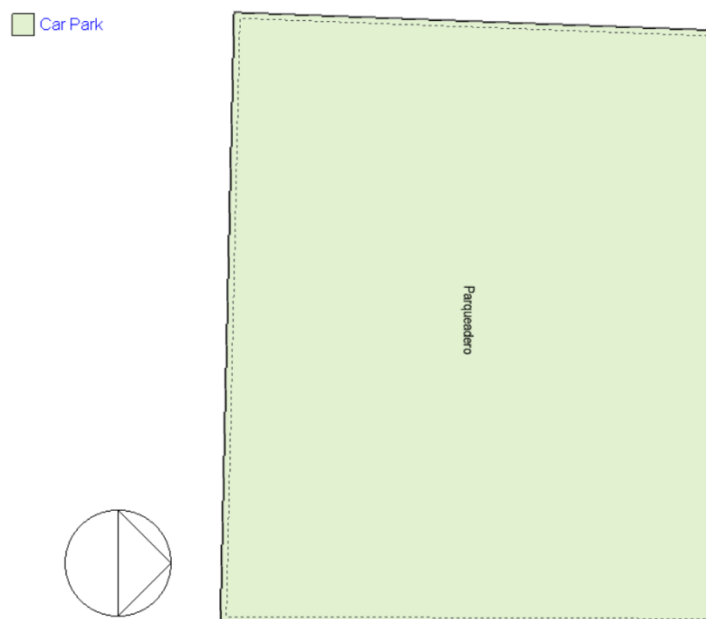


Figura 21. Zona y actividad del Sótano 1 y 2. Fuente: Propia.

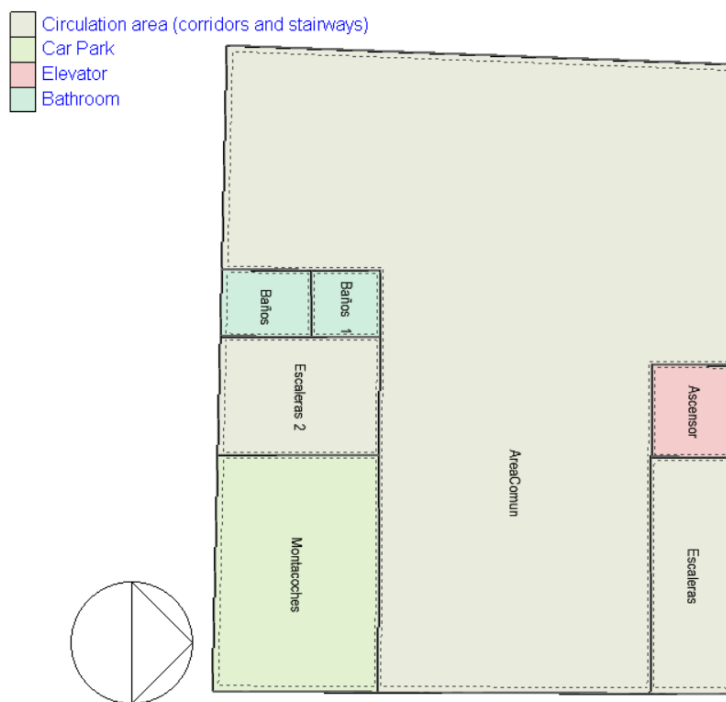


Figura 22. Zonas y actividad del piso 1. Fuente: Propia.

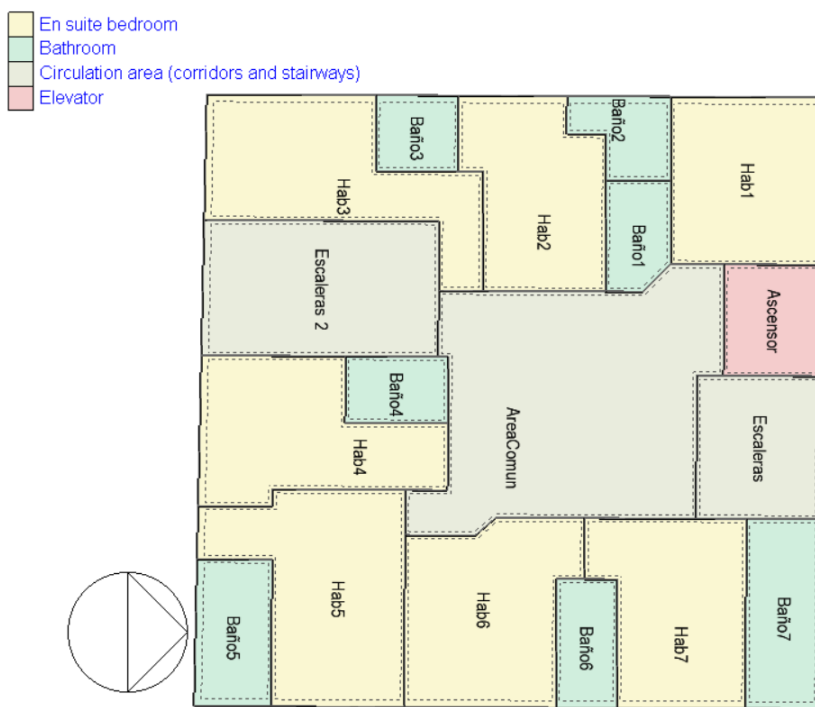


Figura 23. Zonas y actividad del piso 2 y 3. Fuente: Propia.

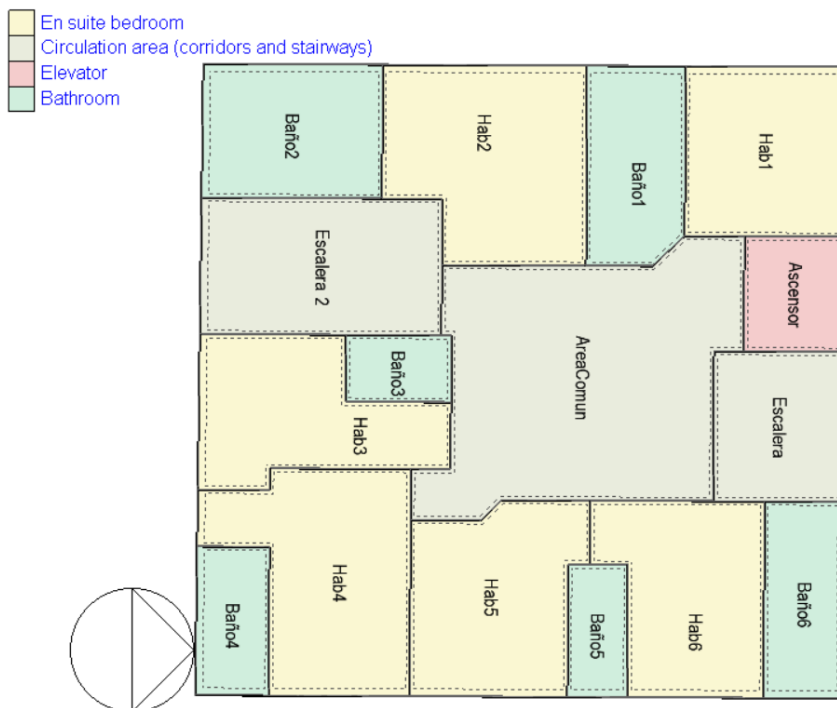


Figura 24. Zonas y actividad del piso 4,5 y 6. Fuente: Propia.

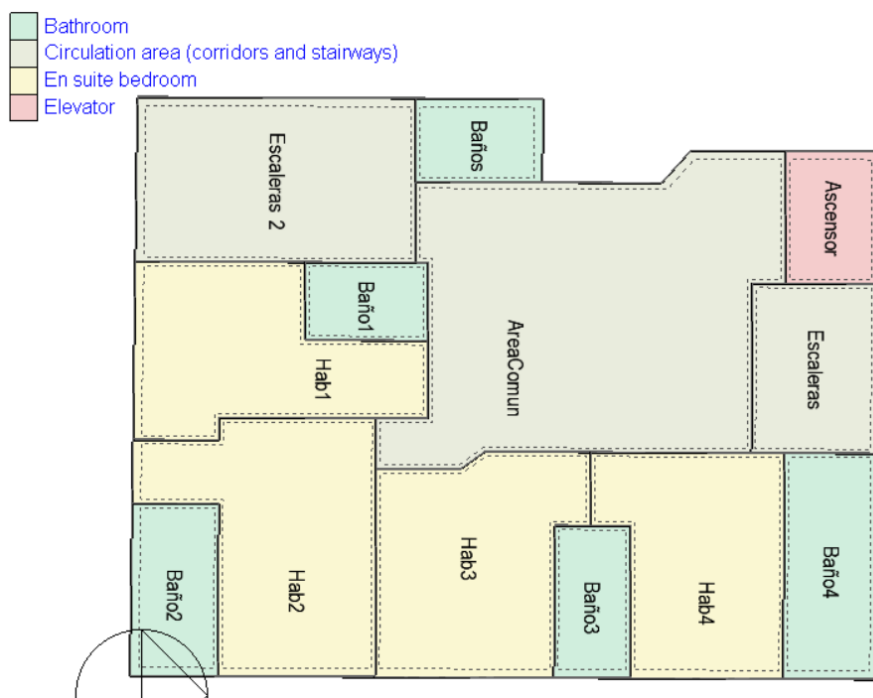


Figura 25. Zonas y actividad del piso 7. Fuente: Propia.

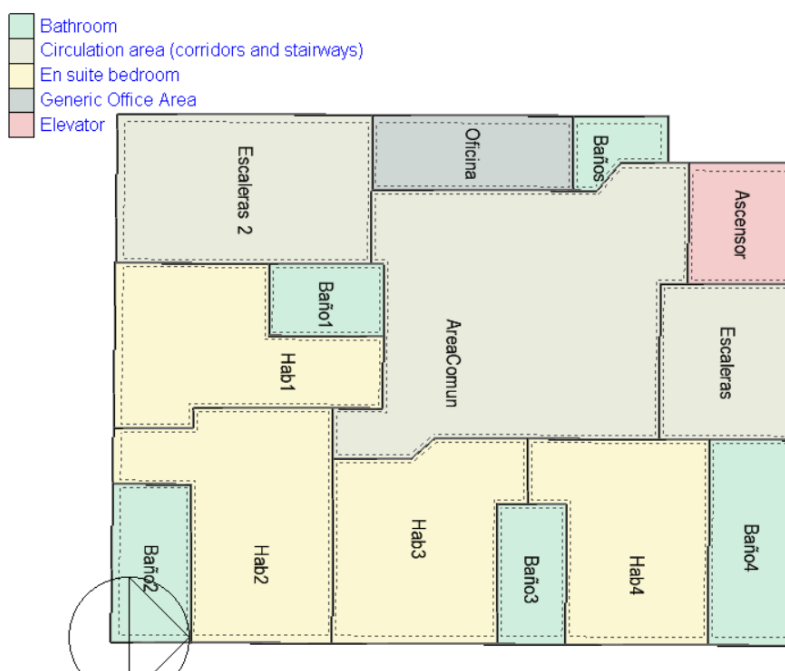


Figura 26. Zonas y actividad del piso 8. Fuente: Propia.

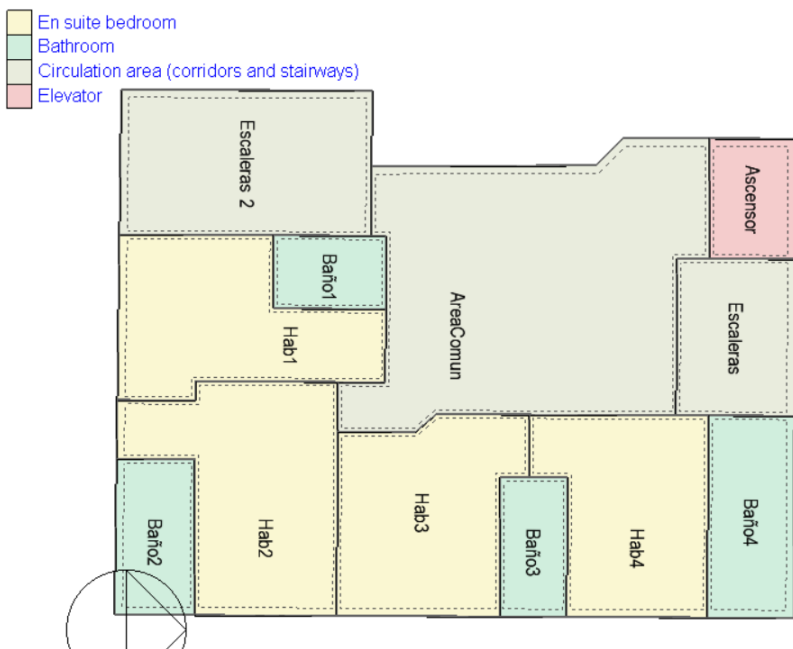


Figura 27.Zonas y actividad del piso 9. Fuente: Propia.

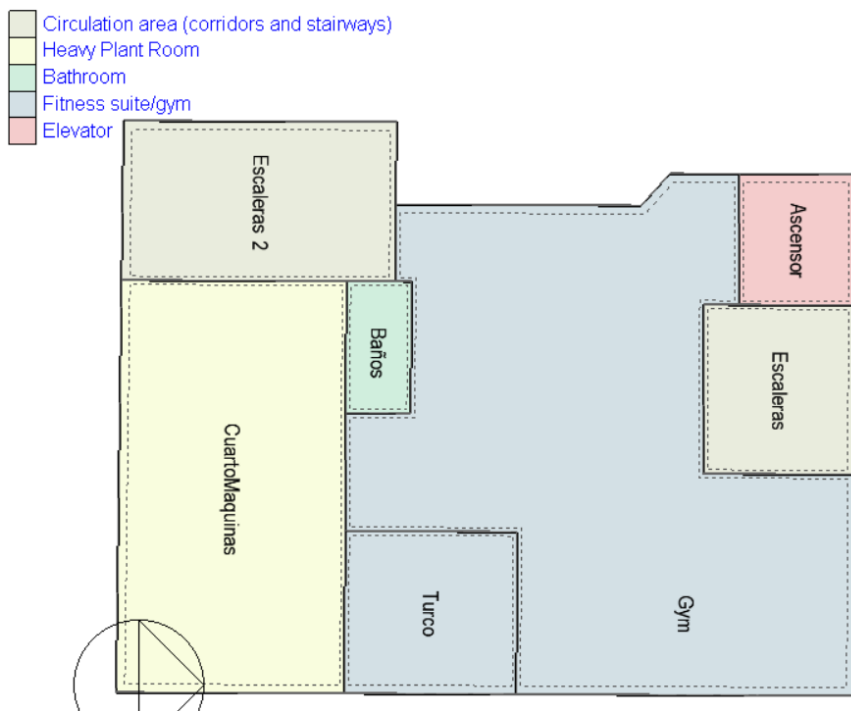


Figura 28.Zonas y actividad del piso 10. Fuente: Propia.

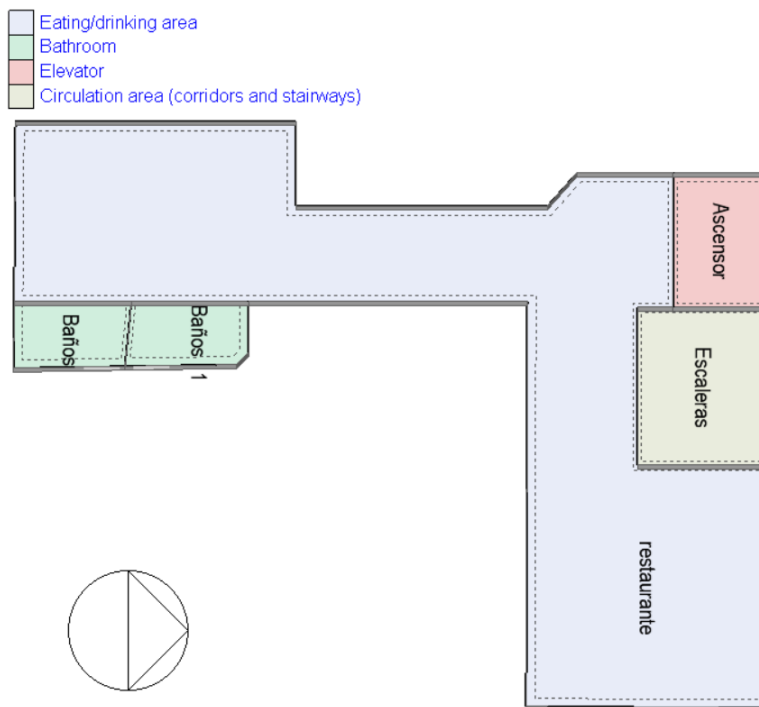


Figura 29. Zonas y actividad de la terraza. Fuente: Propia.

a) Cargas Térmicas por Iluminación

Para lograr calcular el valor por cargas térmicas por parte de la iluminación, era necesario conocer la cantidad y que tipo de luminaria se estaba usando en la edificación, gracias al personal del edificio se logró conocer cuatro tipos de luminarias (lámparas colgantes, bombillos led y led tortugas redondas) que están repartidas en cada uno de los pisos, por tanto, se procede a calcular la densidad de potencia a partir de estos valores, se realizan los cálculos mediante la cantidad de Vatios consumido por cada piso con la fórmula de la ecuación 1.

Ecuación 1. Formula de la Densidad de Potencia.

$$\text{Densidad de potencia} = \frac{\text{Potencia de iluminarias (w)}}{\text{Area total por piso (m}^2\text{)} * 100 \text{ lux}}$$

Como resultado se encontró el menor consumo de energía en los sótanos, debido a la poca cantidad de unidades necesarias para la iluminación de este y los pocos vatios necesarios para su uso. Mientras que el mayor consumo se encuentra concentrado en la terraza, zona la cual está destinada para el uso de restaurante y bar en las horas de la noche, de igual manera funciona como mirador a la ciudad lo cual requiere mayor cantidad de iluminarias. Generando así un total de carga térmica por iluminación 5,0493 W/m².

b) Cargas de Ocupación

La densidad de ocupación es un dato importante ya que afecta de manera directa el consumo de energía, ya que, si se tiene una alta cantidad de individuos por metro cuadrado, será necesario una mayor demanda a la hora de alcanzar una temperatura de confort por lo cual se llevará a utilizar el sistema de aire acondicionado para lograr una temperatura adecuada.

Por lo tanto, para calcular la densidad ocupacional de la edificación es necesario conocer la cantidad de personas que habitan por habitación y el número de personas que trabajan en la edificación, y aplicando la fórmula de la ecuación 2, se podrá calcular la densidad.

Ecuación 2. Formula de la densidad ocupacional.

$$\text{Densidad ocupacional} = \frac{\text{Numero de personas por piso}}{\text{Area total por piso (m}^2\text{)}}$$

Los datos de áreas se obtuvieron de los planos arquitectónicos y gracias al personal de la edificación se logró sacar un aforo de personas por piso. la densidad ocupacional de la edificación para este estudio será de 0,7425 Personas/m².

c) Cargas Térmicas por Equipos de Oficina, Misceláneas y Cocina

Para llevar a cabo el valor de las cargas térmicas que son producidas por equipos de oficinas y equipos de miscelánea como los son los televisores. de igual manera cómo se vio anterior

mente es importante calcular la densidad de potencia o las ganancias de estos aparatos, teniendo en cuenta la potencia por metro cuadrado (ver ecuación 3).

Ecuación 3. Formula de ganancias de energía

$$\text{Ganancias} = \frac{\text{Potencia (w)}}{\text{Area total por piso (m}^2\text{)}}$$

Los valores de W (Potencia) se tomaron del manual de ASHRAE Fundamentals – handbook, capitulo 29 (ASHRAE, 2001). Como resultado se obtuvo la cantidad de quipos de oficina con su respectiva potencia y además se logra conocer el cálculo de la carga térmica por equipo de oficinas de 1,8722 W/m².

Mientras que en el apartado de misceláneos se encuentra las ganancias adquiridas por los televisores, para calcular este dato se aplicara la fórmula de la ecuación 3, como se vio en el apartado anterior, por otro lado, la potencia de un televisor Led de 32" a 50" se encuentra en 90 Vatios. Asimismo, las ganancias por misceláneos son de 3,0909 W/m².

En el último lugar se calcula las cargas térmicas aportadas por la cocina del restaurante de la edificación. Los valores de potencia de cada electrodoméstico se obtuvieron de ASHRAE Fundamentals – handbook, el restaurante aporta unas ganancias térmicas de 9,9665 W/m².

3.2. Estrategia Implementada

Como estrategia se aplicará un muro verde como una alternativa para el ahorro de energía, esta nueva tecnología se aplicará en las fachadas de la edificación, teniendo en cuenta que la configuración de software se mantiene igual en los aspectos de clima y cargas térmicas, en el

apartado de materialidad se van conservar los mismos materiales, la estructura del muro considerada en la modelación consta de 4 capas adicionales a la estructura de la edificación (ver Tabla 4).

Tabla 4. Capas de los muros exteriores con el muro verde Fuente: Propia.

Materialidad de los muros exteriores del caso modificado	
Capa 1	Vegetación
Capa 2	Sustrato
Capa 3	Polímero
Capa 4	Soporte
Capa 5	Acabado en piedra
Capa 6	Mortero
Capa 7	Mampostería
Capa 8	Mortero
Capa 9	Yeso

En los muros exteriores de la fachada principal se le añadió una estructura de acero inoxidable para soportar el sistema de muro verde, se consideró un geotextil con un espesor de 3 cm y que tiene la función de drenar y aislar térmicamente. Además, se encuentra una capa de sustrato de 20 cm de espesor la cual tiene la función de mantener la vegetación hidratada para que se encuentre en las mejores condiciones, de igual forma esa capa de sustrato sirve como aislante para que la radiación solar no llegue directamente a la superficie de la edificación. Por último, se encuentra una capa de vegetación que tiene un espesor de 30 cm, en la cual se utilizó dos especies de vegetaciones, *Ixora* y *Zoysia japónica* (ver Figura 30 y 31). Las dos especies tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de radiación solar, se adaptan a las condiciones climáticas de la zona, se consiguen en los viveros de la región y fueron recomendadas a partir de la investigación de Quintero y Valcarcer (2020).



Figura 30. Planta Ixora. fuente: Flora & Fauna web.



Figura 31. Planta Zoysia Japónica. Fuente: Jardinería on

3.3. Casos Estudiados

Con los modelos de la edificación ya terminados y con todos los parámetros para estimar las cargas térmicas del edificio, se procede a realizar las simulaciones correspondientes para lograr estimar los consumos de climatización y refrigeración de la edificación. Para evaluar el impacto y analizar el efecto que tiene la instalación de un muro sobre el edificio, se probaron 12 escenarios considerando orientación del muro, porcentajes de cobertura y tipo de vegetación (ver Tabla 5) Se realiza una comparación del consumo del caso base respecto a los diferentes casos con muro verde. Se debe tener en cuenta para la nomenclatura que la orientación del edificio siempre es la misma, variando la ubicación del muro verde de acuerdo con las fachadas (Norte, Sur, Este y Oeste)

Tabla 5. Casos de simulaciones. Fuente: Propia.

Caso	Nomenclatura	Fachada	% Cobertura	Especie
Caso Base	CB		0	--
Caso 1	C25	Este	25	<i>Ixora</i>
Caso 2	C50	Este y Oeste	50	<i>Ixora</i>
Caso 3	C75	Este, Oeste y Sur	75	<i>Ixora</i>
Caso 4	C100	Este, Oeste, Sur y Norte	100	<i>Ixora</i>
Caso 5	CE	Este	100	<i>Ixora y Zoysia Japónica</i>
Caso 6	CO	Oeste	100	<i>Ixora y Zoysia Japónica</i>
Caso 7	CS	Sur	100	<i>Ixora y Zoysia Japónica</i>
Caso 8	CN	Norte	100	<i>Ixora y Zoysia Japónica</i>
Caso 9	CE25	Este	25	<i>Ixora</i>
Caso 10	CE50	Este	50	<i>Ixora</i>
Caso 11	CE75	Este	75	<i>Ixora</i>
Caso 12	CE100	Este	100	<i>Ixora</i>

Los diferentes casos son empleados para las simulaciones energéticas. El Caso Base, consta de la simulación del edificio sin el muro verde; para los casos del 1-4 se modeló un muro verde sobre la edificación usando la especie *Ixora*, con coberturas del 25%, 50%, 75% y 100% teniendo en cuenta las distintas fachadas de la edificación. Los casos del 5-8, se modeló un 100 de cobertura para las 4 fachadas usando las dos especies estudiadas. Considerando los resultados se planteó considerar los casos 9-12, donde se modeló coberturas del 25% al 100% únicamente en la fachada Este.

4. RESULTADOS

En el siguiente capítulo se analizarán los resultados obtenidos de las simulaciones tanto del caso base como los casos modificados. Desing Builder viene con la opción predeterminada de calcular los valores de los consumos de energía en un lapso de 365 días, en cual se distribuye en periodos mensuales, además se estima que tanto los ocupantes, cargas por equipos e iluminaciones durante ese periodo de tiempo tendrán un uso constante con el propósito de evaluar los consumos energéticos de los casos.

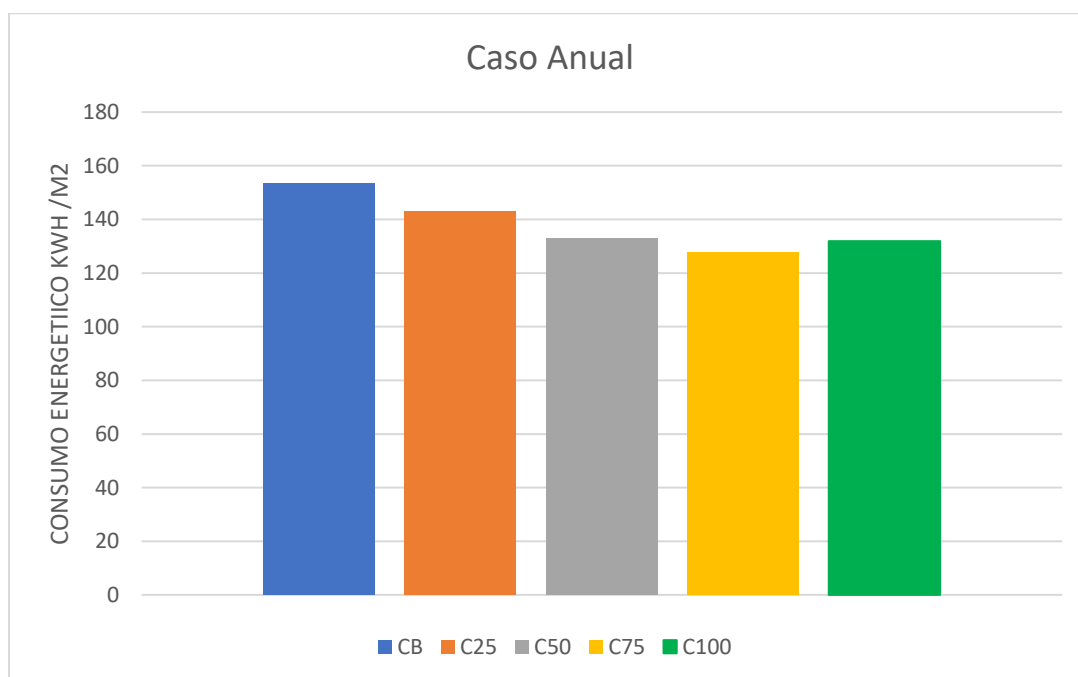


Figura 32. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde. Fuente: Propia.

Al realizar las simulaciones establecidas se puede observar en la Figura 32. los gastos totales de energía en el transcurso de un año, el porcentaje de consumo se disminuye en un 6,9% colocando el muro verde en la fachada Este (C25), en la fachada Este y Oeste se alcanzó una reducción de 13,4% (C50), el mayor porcentaje de reducción en el consumo se logra cuando se usa las fachadas Este, Oeste y Sur, ya que se logra obtener un 16,8% (C75) y cuando se utiliza

la totalidad de las fachadas del edificio se logra obtener un 14,1% (C100). Se esperaba que al tener vegetación en todas las áreas muertas de las fachadas de la edificación se obtendría un mayor porcentaje de reducción de energía. Sin embargo, al comparar los datos se puede observar que en el transcurso de los meses se consume más energía en este modelo a comparación del modelo C75. Por lo tanto, este modelo está actuando como aislante del clima exterior, por lo cual, en el interior se mantiene el calor, aunque en el exterior este más fresco el ambiente. Este fenómeno es muy utilizado en los países que durante el año pasan por las cuatro estaciones, ya que aprovechan el uso de los muros verdes para lograr mantener el calor tanto en el interior de la edificación o en el exterior de ella dependiendo de la estación que se encuentren y así lograr una reducir de los consumos de energía tanto de refrigeración como de calefacción.

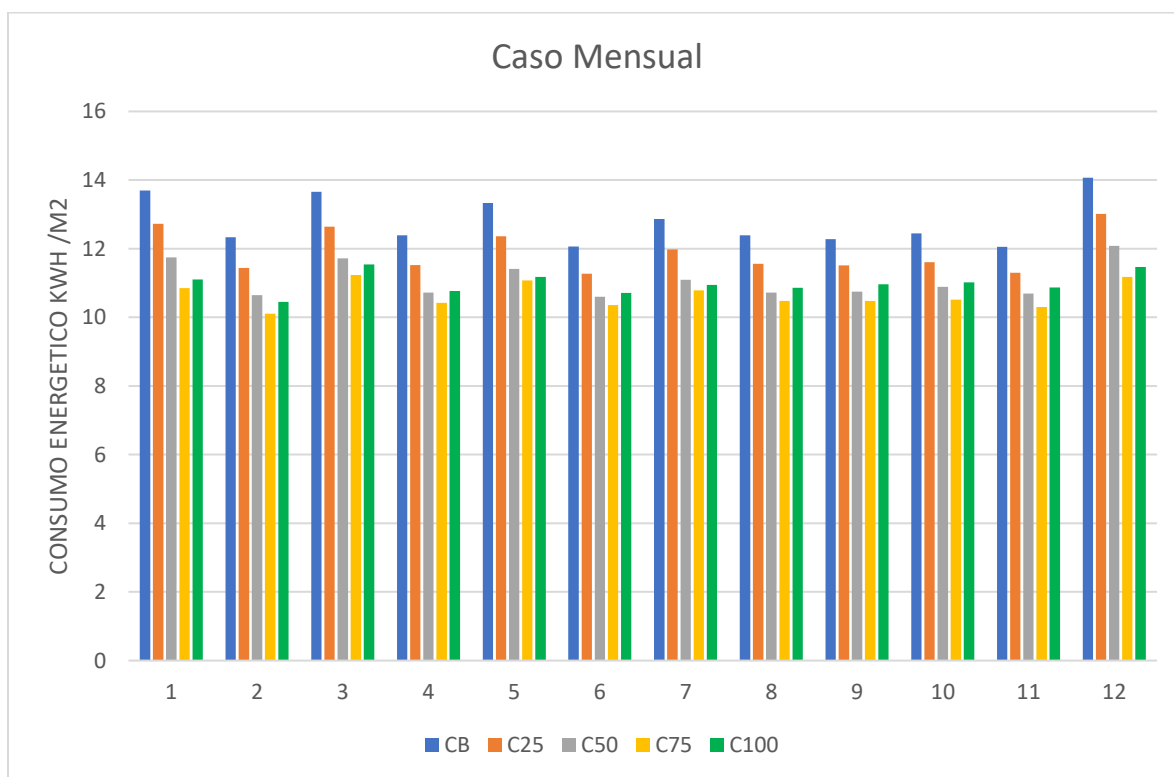


Figura 33. Comparación de gastos energéticos Mensuales sin y con muro verde. Fuente: Propia.

De igual manera en la Figura 33. se puede observar los consumos energéticos mensuales de la edificación, tanto de caso base (CB) y los casos modificados, al realizar una comparación de los datos obtenidos de las simulaciones se puede evidenciar que los cuatro casos modificados presentan una disminución en el consumo de energía en cada mes y su mayor impacto se logra en los meses de Enero y Diciembre donde se encuentra un aumento en la demanda en el consumo de refrigeración, por tanto el muro verde está actuando como un aislante para disminuir la radiación solar afecte directamente la temperatura interna de la edificación, este fenómeno es posible ya que la vegetación tiene la capacidad de reflejar los rayos solares hasta de un 30%, un 50% de los rayos solares son retenidos por la vegetación y solo un 20% de la radiación solar alcanza la fachadas de la edificación directamente (Sempergreen, s.f.).

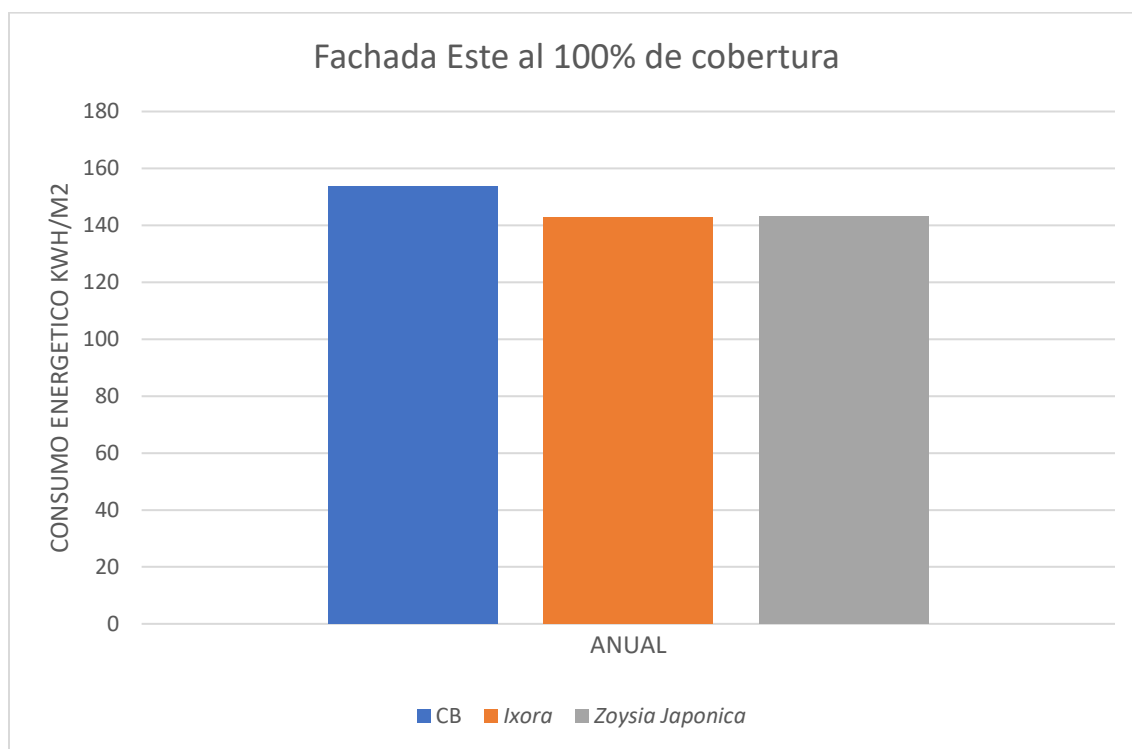
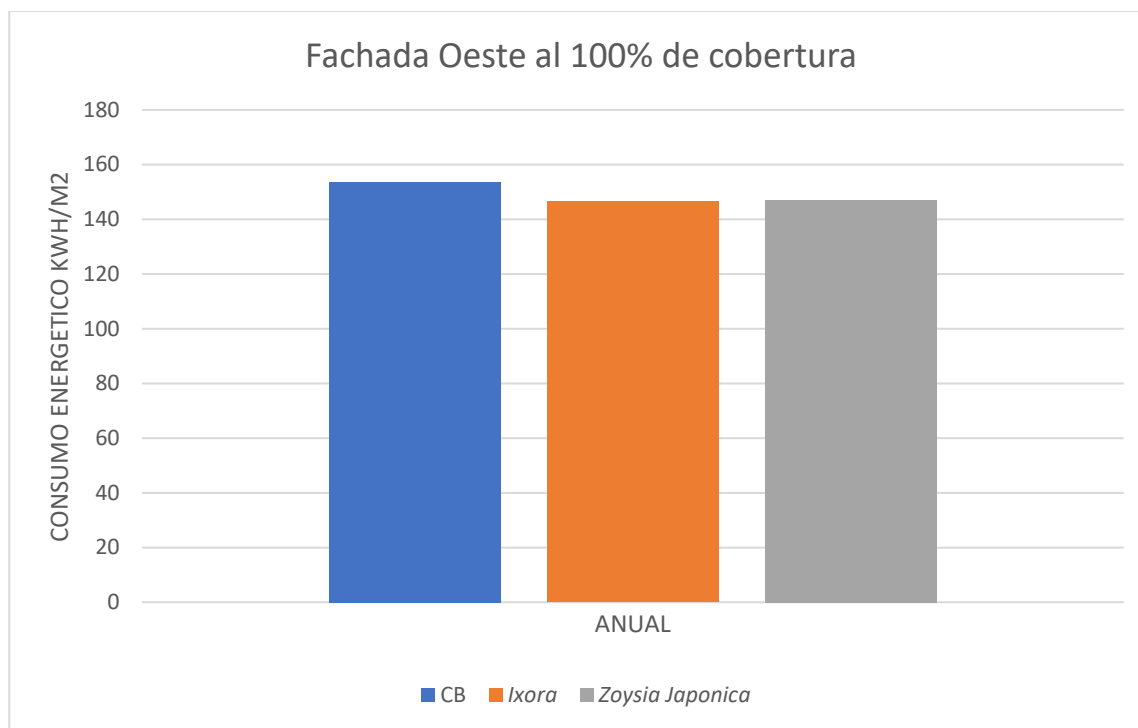
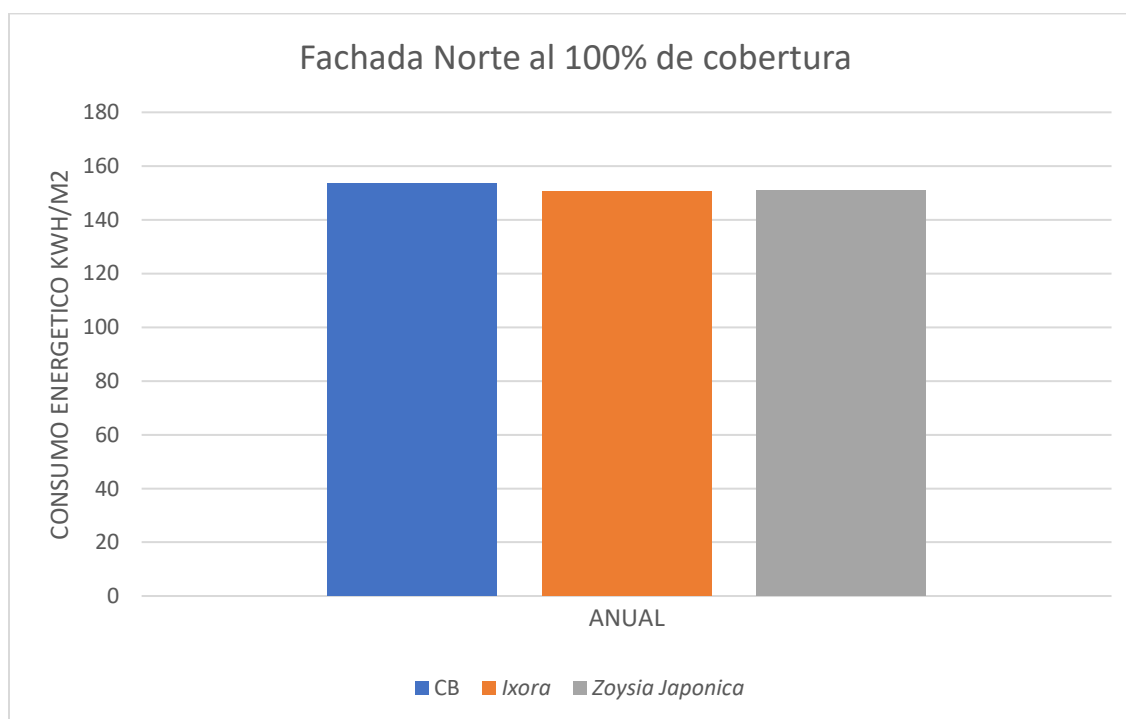


Figura 34. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Este.
Fuente: Propia.



*Figura 35. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Oeste.
Fuente: Propia.*



*Figura 36. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Norte.
Fuente: Propia.*

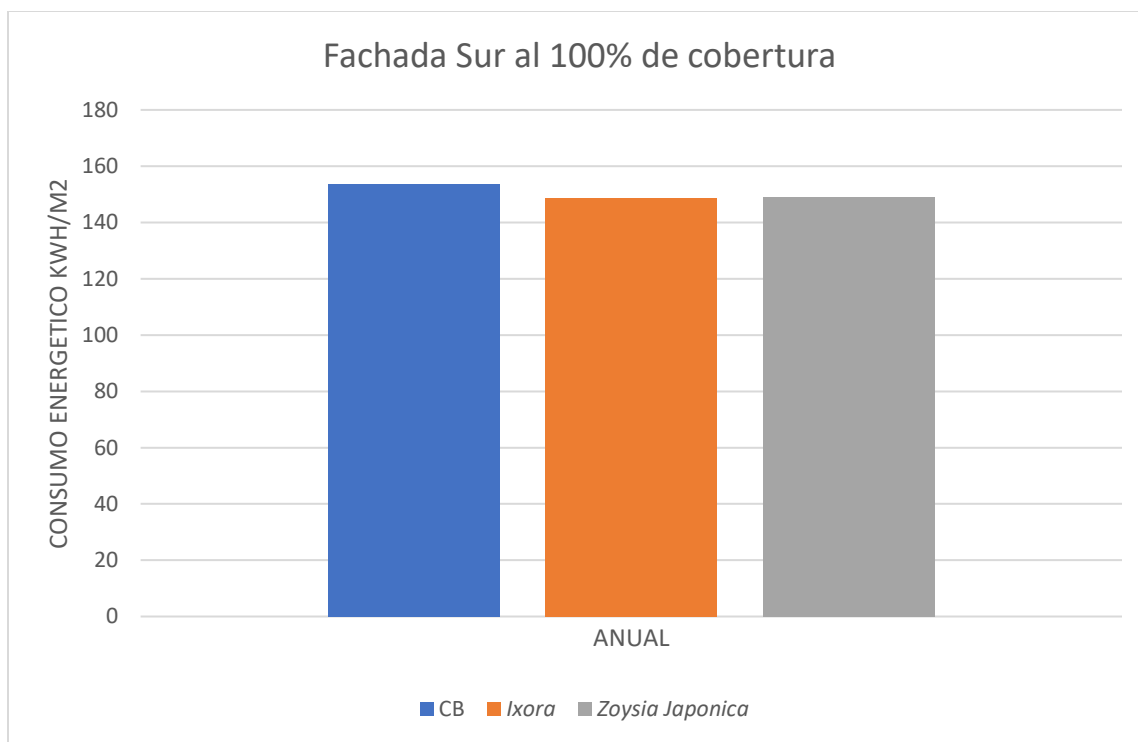


Figura 37. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Sur.
Fuente: Propia.

Como se observa en las gráficas de las Figuras 35, 36 y 37 se puede evidenciar el comportamiento de un muro verde utilizando dos tipos diferentes de vegetación la *Ixora* y *Zoysia Japónica*, esto se llevó a cabo para identificar qué tipo de vegetación brinda un mejor rendimiento en el muro verde, se encontró una pequeña variación del 0,3% de *Zoysia Japónica* respecto a la *Ixora*. Este valor es muy similar y la diferencia es muy poca. Estas simulaciones se llevaron a cabo por fachadas, en la fachada Este se logró reducir un 6,9% con la *Ixora* mientras que con *Zoysia Japónica* se logró un 6,7%, en las fachadas Oeste, Sur y Norte se obtuvo un 4,6%, 4,3%, 3,2%, 2,9%, 2,0% y 1,7% respectivamente. Como se puede observar se ve un mejor rendimiento a la hora de reducir el consumo de energía cuando el muro se encuentra colocado en la fachada este y cuando se está utilizando la especie *Ixora*, esto ocurre porque la *Ixora* tiene un índice de área foliar mayor a comparación de césped, de 4,5 y 2,0 respectivamente. Este número representa la cantidad de superficie verde (m²) que está establecida en un determinado terreno

(m²) por lo tanto la *Ixora* genera una mayor cobertura de sombra en la fachada lo que impide que los rayos solares lleguen directamente a la edificación.

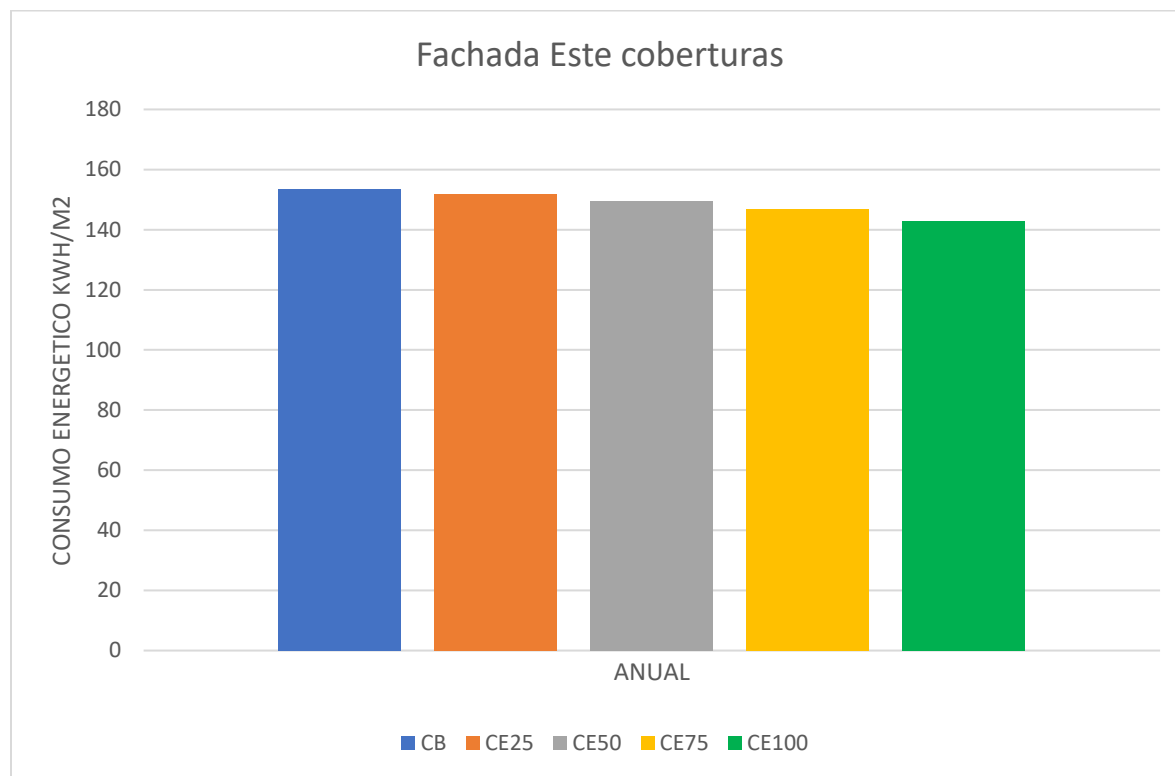


Figura 38. Comparación de gastos energéticos anuales sin y con muro verde en la fachada Este en porcentajes de coberturas. Fuente: Propia.

La fachada Este, contemplada con un 100% de cobertura, es la que más refleja un porcentaje de reducción. Como se puede observar en la Figura 38, se simularon diferentes porcentajes de cobertura en la fachada evidenciando que, a mayor cobertura, se obtendrá una mayor reducción. Con una cobertura del 25% en la fachada Este se obtiene un porcentaje de reducción del 1,1%, con una cobertura del 50% se obtiene un 2,6%, con una cobertura del 75% un 4,4% y finalmente un 6,9% de reducción con la fachada al 100% de cobertura. Como era de esperarse se presenta una disminución directamente proporcional entre el porcentaje de cobertura de la fachada y el porcentaje de reducción de consumo energético.

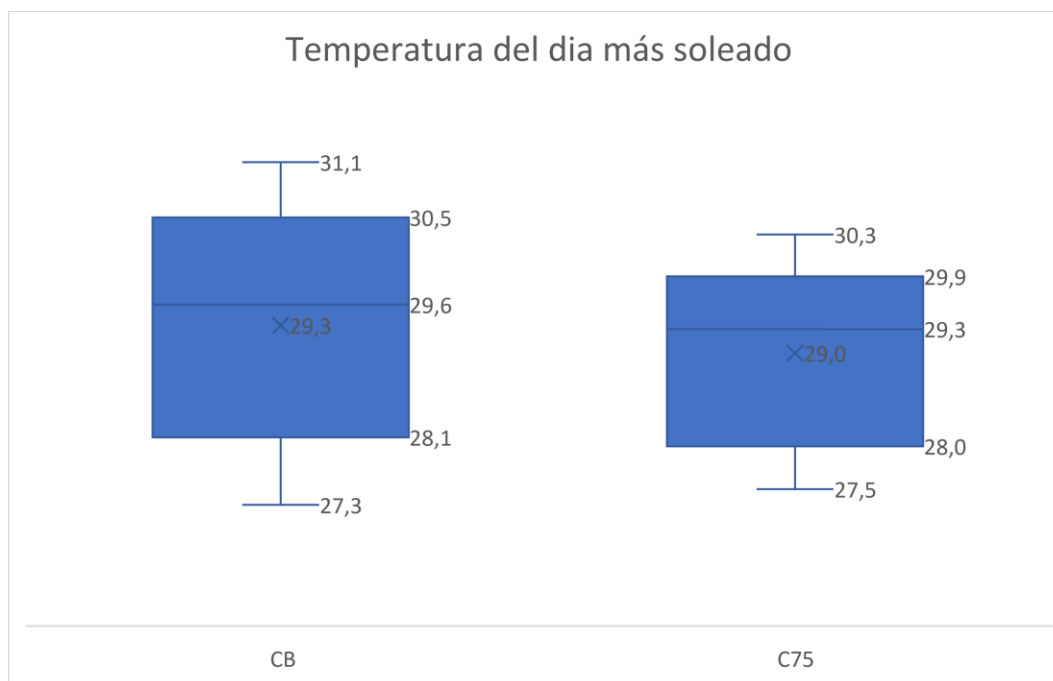


Figura 39. Comparación de la temperatura en el día más soleado. Fuente: Propia.

En la Figura 39. se muestra los cambios de temperatura de caso base (CB) y mejor caso modificado (C75). Para estas dos simulaciones, se apagó el sistema de aire acondicionado y se simuló el día más caluroso del año, en el cual se tuvo en cuenta las temporadas secas de Colombia y por lo cual se tomó día más caluroso el 12 de enero. Se observa que la temperatura mínima del caso base es de 27,3 °C mientras que con el sistema de muro verde se obtiene un 27,5 °C por lo cual en el transcurso del día el caso modificado (C75) está actuando como aislante de la temperatura interior del edificio a la exterior normalmente más fresco. Además, la temperatura máxima que logra la edificación con el muro verde es de 30,3 °C y un 31,1 °C respectivamente en el caso base. De forma tal que se logra conseguir una reducción de temperatura de 0,8 °C.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras haber estudiado el impacto de los muros verdes en una edificación de uso comercial en la ciudad de Bucaramanga, Santander se pudo establecer esta técnica como una alternativa viable para la reducción del consumo de energía. La magnitud del impacto en la reducción del consumo energético va enlazada al entorno climático donde se encuentre la edificación, la ubicación del muro en el mismo y el tipo de vegetación que se implemente. Los resultados obtenidos en la ciudad de Bucaramanga evidencia que las condiciones climáticas son propicias a la implementación de los muros verde si se tiene como propósito disminuir el consumo energético.

Los resultados del balance energético evidencian un mayor beneficio de la vegetación *Ixora* respecto a la especie *Zoysia Japonica* en el que se aprecia un 0,3% de mejora, este porcentaje no es tan significativo y se podría dar uso a cualquiera de las dos especies, sin embargo, para el uso del proyecto se empleará *Ixora* debido a que es una especie nativa de la región de Santander y presenta un mejor rendimiento. Para el uso de esta, se recomienda un sistema Hidropónico ya que la especie *Ixora* es de clase arbustiva. Ya seleccionada la vegetación las simulaciones realizadas sugieren que para la mayor reducción del consumo energético se debe implementar el caso 4, que consta el 75% del total de fachadas de la edificación con un 16,8% de reducción. Si se requiere una opción más viable monetariamente y se desea usar una única fachada, se recomienda el uso de la fachada Este con el 100% de su cobertura, el cual posee un 6,9% de reducción en el consumo energético.

El uso del muro verde reflejó un cambio moderado en la temperatura de la edificación. Al implementar esta tecnología, se pudo observar una menor variación de temperatura durante el transcurso del día. Sin embargo, la menor temperatura del día más caluroso del año es menor a

la registrada con el muro verde, 27,3 °C y 27,5 °C respectivamente. Lo contrario a la temperatura más alta en el día evaluado que sin el muro muestra una temperatura de 31,1°C y con el muro 30,3 °C. En consecuencia, se puede decir que el uso del muro verde ayuda a que disminuya la variación de temperatura y a reducir las altas temperaturas.

Teniendo en cuenta la importancia del ahorro energético, la implementación de nuevas tecnologías y la construcción sostenible, es necesario seguir con la investigación de los diversos beneficios en el uso de los muros verdes implementando variedad en el tipo de climas y especies. De igual manera estudiar el tiempo de retorno de la inversión usada para la construcción del muro.

6. BIBLIOGRAFIA

BARRERA, S. (1999). Introducción a la problemática del medio ambiente. Facultad de ingeniería civil de los Andes, Bogotá, Colombia, pp. 70-71.

BENARDI, U. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green Roofs. *Applied Energy*, 115, 411-428.

BRIZ, J. (2004). Naturación urbana cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Grupo mundiprensa, Madrid, España.

CHENG, C.C., POUFFARY, S., SVENNINGSSEN, N., CALLAWAY, J.M. (2008). The Kyoto Protocol, The clean development mechanism and the building and construction sector: A report for the UNEP Sustainable Buildings and Construction Initiative, París, Francia. 84 pp.

CYNAMON, J. (2008). Industry corner. *Simulation*, 91-93.
<https://doi.org/10.1177/003754979606600204>

DUARTE, D. Y MORENO, A. (2014). Techos verdes en viviendas de estrato 1: aplicado a los barrios Yomasa. Tesis de Licenciatura. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.

DVORAK, B. (2009). The Chicago City Hall green roof pilot project: A case study, Texas A&M University, College Station, 1-8.

FLORES, F.F. (2015). Techos verdes propuesta de mitigación de la isla de calor en la ciudad de Poza Rica, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana, Poza Rica, México.

FRANCO, A., PÉREZ, L., TORRENT, P., FERNANDEZ, R. (2008). Proyecto de Jardinería Vertical: una experiencia de formación multidisciplinar en la Universidad de Sevilla. DOCPLAYER. <https://docplayer.es/18897518-Proyecto-de-jardineria-vertical-una-experiencia-de-formacion-multidisciplinar-en-la-universidad-de-sevilla.html>.

FUJII, S., CHA, H., KAGI, N., MIYAMURA, H., Y KIM, Y. S. (2005). Effects on air pollutant removal by plant absorption and adsorption.

GARCÍA, I. (2010). Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. SNES2010-ABC-022.

http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/251/BENEFICIOS_SISTEMAS_NATURACION_ILSE.pdf

GEDGE, D. Y FRITH, M. (2004). Green Roof benefits and cost implications. Livingroofs.org. Disponible en <http://www.sustainable-eastside.net/Green%20Roofs%20Report%202.07.05.pdf>, recuperado el 22 de Julio del 2012.

HIGUERAS E. (2006). Urbanismos bioclimáticos. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, España.

HUOVILA, P. (2007). Buildings and climate change: status, challenges, and oportunities. United Nations Environment Programme, París, Francia. 38 pp.

JIM, C. Y., Y TSANG, S. W. (2011). en prensa. Ecological energetics of tropical intensive green roof. Energy and Buildings.

LI, J., WAI, H., LI, S. (2010). Effect of green roof on ambient CO2 concentration. Building and Environment, 45 (12), 2644- 2651.

LIU, T., G. SHYU, W. FANG, S. LIU, B. CHENG. (2012) Drough tolerance and thermal effect measurements for plants suitable for extensive green roof planting in humid subtropical climates. Energy and building journal.

KAMAL ARIF, M. (2010). A study of shading of buildings as a preventive measure for passive cooling and energy conservation in buildings. International Journal of Civil & Environmental Engineering.

KORC, M. (2010). Comisión económica para América Latina y el Caribe. <http://www.eclac.org>

LÓPEZ, C. (2010). Un acercamiento a las cubiertas verdes. Editorial F.B.P.S.A. Medellín.

MALDONADO, C. D. (2009). Efectividad de los sistemas de techos con cubierta vegetal para la mitigación del calentamiento y manejo de la escorrentía de las zonas urbanas. Tesis de Maestría. Universidad de San Juan, San Juan, Puerto Rico.

MINKE, G. (2012). Muros y fachadas verdes, jardines verticales. Barcelona: Icaria editorial.

MOTTA, I. O. (2017). Techo plantado como dispositivo de climatización pasiva en el trópico. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6291245>

OCHOA DE LA TORRE, J.M. (1999) La vegetación como instrumento para el control micro climático, Capítulo 5: evaluación y aprovechamiento de los efectos micro climáticos de la Vegetación. Tesis, TDX (Tesis Doctorals en Xarxa), UPC Commons. Universitat Politècnica de Catalunya.

ODUM E. (1995). Ecología peligra la vida. Interamericana y McGraw Hill, Barcelona, España, pp. 209, 235.

OTTELÉ, M. (2011). The Green building envelope, Vertical greening. Universidad Técnica de Delft: SiecaRepro.

PAPAIIOANNOU. L. (2013). Vegetated facades as environmental control systems.

PATIÑO MANOSALVA, C. A., & GARCÍA PEÑARANDA, S. (2019). Metodología de construcción cubiertas y fachadas verdes para uso de huertas urbanas en Bucaramanga.

PORTILLA, N. (2013). Los jardines verticales en la edificación. Universidad Politécnica de Valencia.

QUINTERO, A., VALCARCE, J. (2020). Impacto medioambiental del uso de techos y muros verdes sobre edificios en la ciudad de Bucaramanga y su área Metropolitana.

SHARMA, A. (2018). Role of green roofs in reducing heat stress in vulnerable urban communities—A multidisciplinary approach. Publicación de IOP. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=JISZCaoAAAAJ&citation_for_view=JISZCaoAAAAJ:1r-w4gtu6w8C

SHEWEKA, S., MAGDY, N. (2011). The living walls as an approach a healthy environment.

URRESTARAZU, M., BURES, S., ERKOREKA, A., PÉREZ, G., AZKORRA, Z., COMA, J., ALVARO, J. (2014). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings.

VIECCO, M., VERA, S., JORQUERA, H., (2021). Effects of biodiversity in green roofs and walls on the capture of fine particulate matter. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866721002545>

VIECCO, M., VERA, S., JORQUERA, H., SHARMA, A., BUSTAMANTE, W. (2021). Green roofs and green walls layouts for improved urban air quality by mitigating particulate matter. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132321005217>

VILLA, F. (2009). Construcciones verdes, Rev. Alarife, Revista de arquitectura. (17):41-54.

WONG, N., KWANG TAN, A., YOK TAN, P., CHEN, Y., SEKAR, K., CHIANG, K., CHAN, D. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls.