

**APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS PASIVAS EN VIVIENDA FAMILIAR PARA EL  
MEJORAMIENTO DEL CONFORT TÉRMICO DENTRO DE LA MISMA**

María Camila Rodríguez Plata

Richard Gelvez Castellanos

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2021

**APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS PASIVAS EN VIVIENDA FAMILIAR PARA EL  
MEJORAMIENTO DEL CONFORT TÉRMICO DENTRO DE LA MISMA**

María Camila Rodríguez Plata

Richard Gelvez Castellanos

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

**INGENIERA CIVIL**

Director del Proyecto

Margareth Viecco Márquez

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2021

**Para cada una de las personas que hicieron parte de este gran sueño.  
Muchas gracias.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A cada uno de los docentes que hicieron parte de este camino y aportaron conocimiento a lo largo de nuestra formación universitaria.

A la Ing. Margareth Viecco por el apoyo y colaboración en el desarrollo del proyecto de grado.

A nuestros calificadores el Ing. Leonardo Barón e Ing. Carlos Rivera por el tiempo dedicado a la corrección del documento final.

A nuestra familia que fue apoyo y motor fundamental en nuestra formación profesional.

Y finalmente, a cada uno de nuestros compañeros que hicieron parte de este gran proceso.

Todo esto es por ti, Dios.

## TABLA DE CONTENIDO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | INTRODUCCIÓN .....                             | 10 |
| 2.    | OBJETIVOS .....                                | 12 |
| 2.1   | OBJETIVO GENERAL.....                          | 12 |
| 2.2   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                    | 12 |
| 3.    | HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....             | 13 |
| 4.    | DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....                | 14 |
| 5.    | ANTECEDENTES .....                             | 16 |
| 6.    | MARCO TEÓRICO.....                             | 21 |
| 6.1   | TECNOLOGÍAS PASIVAS.....                       | 21 |
| 7.    | METODOLOGÍA.....                               | 26 |
| 7.1   | ESTADO DEL ARTE.....                           | 29 |
| 7.1.1 | ESTRATEGIAS DEL DISEÑO PASIVO.....             | 30 |
| 7.2   | DISEÑO BIOCLIMÁTICO.....                       | 65 |
| 7.2.1 | DEFINICIÓN DE LAS ESTRATEGIAS .....            | 65 |
| 7.2.2 | MATERIALIDAD DEL MODELO .....                  | 66 |
| 7.2.3 | LOCALIZACIÓN Y TOPOGRAFÍA DE LA VIVIENDA ..... | 72 |
| 7.2.4 | ARCHIVO CLIMATOLÓGICO.....                     | 73 |
| 7.3   | ENTRADA DE DATOS DEL MODELO BASE.....          | 78 |
| 7.4   | CASOS MODELADOS.....                           | 81 |
| 8.    | ANÁLISIS Y RESULTADOS .....                    | 83 |
| 9.    | CONCLUSIONES .....                             | 89 |
| 10.   | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                | 92 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Eficiencia de una edificación sustentable                             | 17 |
| Figura 2. Edificio Kubik  | 19 |
| Figura 3. Diagrama metodológico   | 28 |
| Figura 4. Orientación adecuada de una edificación                               | 31 |
| Figura 5. Masa térmica  | 32 |
| Figura 6. Carta solar para latitud 20° N  | 33 |
| Figura 7. Persiana como protector solar   | 34 |
| Figura 8. Tipos de protecciones solares   | 35 |
| Figura 9. Protección solar – sistemas de lamas fijas y móviles                  | 36 |
| Figura 10. Estrategia de ventilación cruzada                                    | 37 |
| Figura 11. Estrategia de ventilación convectiva                                 | 38 |
| Figura 12. Diagramas en corte de niveles de presión neutra (NPL)                | 39 |
| Figura 13. Estrategia de enfriamiento evaporativo                               | 40 |
| Figura 14. Muros exteriores con aislamiento térmico para paredes lado S, SE, SO | 44 |
| Figura 15. Disposición de bloques   | 47 |
| Figura 16. Mapa de temperatura media anual                                      | 48 |
| Figura 17. Azotea convencional vs Azotea verde                                  | 49 |
| Figura 18. Cubierta en guadua   | 50 |
| Figura 19. Muro verde ligero  | 51 |
| Figura 20. Estadística de modificaciones de los proyectos                       | 64 |
| Figura 21. Localización geográfica de Bucaramanga                               | 72 |
| Figura 22. Escala de pisos térmicos   | 73 |
| Figura 23. Temperatura media anual en la estación de Palonegro - Bucaramanga    | 74 |
| Figura 24. Horas de luz natural y crepúsculo                                    | 75 |
| Figura 25. Horas de luz natural y crepúsculo                                    | 75 |
| Figura 26. Velocidad promedio del viento  | 76 |
| Figura 27. Dirección del viento   | 76 |
| Figura 28. Energía solar de onda diaria promedio                                | 77 |
| Figura 29. Configuración de periodo en Design Builder                           | 78 |
| Figura 30. Configuración de resultados Design Builder                           | 79 |
| Figura 31. Configuración de actividad Design Builder                            | 80 |
| Figura 32. Perforaciones para ventilación natural cruzada                       | 81 |
| Figura 33. Inclusión efecto chimenea  | 81 |
| Figura 34. Inclusión de aleros verticales y horizontales                        | 82 |
| Figura 35. Datos temperatura por caso modelado                                  | 83 |
| Figura 36. Comparativa de temperatura por estrategia                            | 85 |
| Figura 37. Comparativa de mejores casos   | 86 |

## **LISTA DE TABLAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Estrategias del diseño pasivo _____    | 30 |
| Tabla 2. Proyectos de estrategias pasivas _____ | 54 |
| Tabla 3. Diseño bioclimático _____              | 65 |
| Tabla 4. Materialidad de la vivienda _____      | 68 |
| Tabla 5. Test de Mann - Whitney _____           | 87 |

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS PASIVAS EN VIVIENDA FAMILIAR PARA EL MEJORAMIENTO DEL CONFORT TERMICO DENTRO DE LA MISMA.

**AUTOR(ES):** MARIA CAMILA RODRIGUEZ PLATA RICHARD  
GELVEZ CASTELLANOS

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** MARGARETH VIECCO MARQUEZ

### **RESUMEN**

En la presente investigación cobran importancia y son protagonistas los recursos naturales, fuente inagotable que permite reducir al máximo el consumo de energía que se produce comúnmente en una vivienda. Para esto, se implementó el uso de tecnologías pasivas en una vivienda familiar ubicada en la ciudad de Bucaramanga, Santander, buscando así el mejoramiento de su confort térmico. Teniendo en cuenta las características que posee la vivienda, se propone una solución para el confort a través del manejo de la ventilación y el control solar. El proyecto se encuentra estructurado en dos fases principales, la primera consta de una revisión bibliográfica y un estudio de las características que posee la vivienda y en la segunda, se evaluó un prototipo experimental por medio de una simulación en Design Builder, el cual indico los déficits que poseía la vivienda en su modelo original y con esto se desarrolló una propuesta nueva de vivienda a partir del modelo base. Finalmente, se propuso la implementación de las estrategias pasivas en base a los buenos resultados que arrojó la simulación, logrando disminuir la temperatura de la vivienda y minimizando al máximo el consumo de energía y los efectos negativos en el medio ambiente, todo esto buscando el mejoramiento del confort térmico de la misma.

### **PALABRAS**

#### **CLAVE:**

Confort térmico, tecnologías pasivas, Bucaramanga, Control Solar, Ventilación, Design Builder.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

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

**TITLE:** APPLICATION OF PASSIVE TECHNOLOGIES IN FAMILY HOUSING FOR THE IMPROVEMENT OF THERMAL COMFORT WITHIN THE SAME.

**AUTHOR(S):** MARIA CAMILA RODRIGUEZ PLATA RICHARD GELVEZ CASTELLANOS

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** MARGARETH VIECCO MARQUEZ

### **ABSTRACT**

In this research, natural resources are important and the protagonists, an inexhaustible source that allows reducing to the maximum the energy consumption that is commonly produced in a home. For this, the use of passive technologies was implemented in a family home located in the city of Bucaramanga, Santander, thus seeking to improve its thermal comfort. Taking into account the characteristics of the house, a solution for comfort is proposed through the management of ventilation and solar control. The project is structured in two main phases, the first consists of a bibliographic review and a study of the characteristics of the house and in the second, an experimental prototype was evaluated through a simulation in Design Builder, which indicated the housing deficits in its original model and with this a new housing proposal was developed based on the base model. Finally, the implementation of passive strategies was proposed based on the good results that the simulation yielded, managing to reduce the temperature of the house and minimizing energy consumption and negative effects on the environment to the maximum, all this seeking to improve the thermal comfort of the house.

### **KEYWORDS:**

Thermal Control, Passive technologies, Bucaramanga, Solar Control, Ventilation, Design Builder.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido al impacto que han venido generando a nivel mundial las distintas actividades humanas en el medio ambiente, en los últimos años se ha buscado la manera de contrarrestar estos efectos. En el sector de la construcción, se han implementado edificaciones compatibles con el medio ambiente, esto ha sido posible con la ayuda de las tecnologías pasivas (Ledesma, 2021).

Los sistemas pasivos tienen como objetivo el acondicionamiento óptimo de una edificación aprovechando recursos tales como: orientación, localización, materiales de construcción y factores climatológicos como sol y viento. Estos son de gran importancia en la arquitectura sobre todo porque su principal objetivo es el ahorro de energía en una edificación, haciendo que su consumo sea casi nulo, lo que genera un impacto positivo al medio ambiente y contribuye a su conservación (Ledesma, 2021).

En cuanto al confort térmico hoy en día es uno de los objetivos principales a la hora de realizar una construcción y plasmar la arquitectura del proyecto en los planos. Por esto lo que se busca es la comodidad del ser humano con ayuda de la implementación de las estrategias pasivas para fijar unos rangos de confort óptimo los cuales están relacionados con el clima del lugar, el ambiente en el que se encuentran y la respuesta de la persona (Jara, 2015).

En el presente documento, se busca implementar dichas estrategias para el mejoramiento del confort térmico en una edificación de uso residencial ubicada en la ciudad de Bucaramanga – Santander, Colombia. En el análisis que se realizará de la edificación seleccionada, se buscará contemplar cada uno de los factores que intervienen en el confort al interior de la vivienda y con esto, se busca reducir el impacto ambiental por medio del uso de estrategias pasivas teniendo en cuenta los déficits que posee la vivienda (García A. S., 2019).

Gracias a los avances que ha tenido la tecnología al pasar de los años, se ha logrado por medio de Software como (Energy plus “E+”, Ecotect, Design Builder) analizar e identificar las carencias que posee la vivienda por medio de un proceso de simulación.

El documento presentado a continuación es una propuesta de investigación basada en exitosos proyectos en diferentes partes del mundo, este documento contiene una metodología y cronograma que servirán de base para cumplir con la investigación y lograr los objetivos planteados inicialmente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el impacto de la implementación de estrategias pasivas desde el diseño sobre el confort térmico de los ocupantes de una edificación de uso residencial ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Compilar, a través de una revisión de literatura, investigación científica sobre el uso de distintas tecnologías pasivas y su impacto en el confort térmico de distintos proyectos en el mundo.
- ✓ Identificar las tecnologías pasivas más apropiadas para las condiciones climáticas de la región metropolitana de Bucaramanga y evaluar su impacto individual sobre el confort térmico en una edificación de uso residencial.
- ✓ Realizar un diseño integrado usando las tecnologías pasivas en una edificación de uso residencial.

### **3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

Con ayuda del software Design Builder se puede realizar una simulación para mejorar el control solar y la ventilación, no solo en busca de confort térmico sino también en busca de una vivienda autosostenible que reduzca el consumo de energía al mínimo posible y contribuya con el medio ambiente.

#### 4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad las estrategias al diseñar y construir un edificio han cambiado. Todas estas nuevas técnicas surgen a partir de la problemática ambiental que vive el mundo en la actualidad, por esto la preocupación de llevar una arquitectura que vaya de la mano con el medio ambiente, que tanto en el diseño como en la construcción se usen materiales y técnicas sostenibles. Para llevar a cabo una arquitectura de bajo consumo se debe tener en cuenta que la mejor energía es la que no se consume, con esta premisa el resultado será confort, calidad y bajo consumo.

Los factores que definen una arquitectura basada en tecnologías pasivas son la climatología y las características propias de su entorno, por lo tanto, este proyecto al ser basado en una vivienda ubicada en Bucaramanga, Santander, busca como beneficio de la tecnología pasiva el mejoramiento de la temperatura en el interior de la vivienda y la protección solar de la misma.

Es por esto que hoy en día se busca explotar al máximo las diferentes características que tenga la locación en donde se va a ubicar el proyecto, como por ejemplo si es una llanura o una montaña para así poder incluir estos factores y dar mejor calidad de vida dentro de la misma, evitando así el consumo exagerado de energía para el mejoramiento del confort térmico.

Gracias al avance tecnológico, hoy en día se puede averiguar qué tan eficiente puede ser el involucrar las estrategias pasivas en algunas edificaciones, esto por medio de un modelador en 3D (Design builder), en el cual se evalúan sistemas de climatización, uso de energías renovables que reducen los consumos energéticos al mínimo y confirman que si vale la pena la implementación de la tecnología pasiva en la edificación.

El uso de tecnologías pasivas hoy en día se encuentra al alcance de cualquier edificación sea nueva o implementada por medio de una remodelación, esto con el fin que puedan obtener un estándar “passivhaus”.

Teniendo en cuenta que Colombia no posee una normativa en la que se establezcan los estándares de confort ideales para cada una de las regiones del país, es necesario basarse en algunos usados en diferentes regiones del mundo que se puedan aplicar a la zona seleccionada.

Finalmente, desde el sector de la construcción se debe actuar con responsabilidad social y ambiental en el desarrollo de las ciudades y por medio de la construcción de la misma, disminuir los efectos negativos que las edificaciones traen en el medio ambiente y el cambio climático.

## 5. ANTECEDENTES

Los habitantes del mundo están claros en que día a día el calentamiento global se vuelve algo inevitable y que día a día es más grande la contaminación ambiental que se genera por el consumismo y las necesidades que se tienen para vivir de una manera cómoda, esta contaminación crece a partir de deforestaciones, explotaciones en las minas, mal procesamiento de desechos, extremo consumo de energía y muchas otras más que suman a la hora de afectar el mundo, el ambiente y de paso la salud de todos.

En el sector de la construcción el impacto ambiental que se genera es muy alto y esto es por las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan y el alto consumo de energía que presenta una edificación, según el diario sustentable, “las últimas cifras registradas por el Green Building Council (GBC), en relación a los edificios, revelan la realidad mundial; mantienen un 72% del consumo eléctrico, usan el 48,7% de la energía y emiten un 46,7% de CO<sub>2</sub>” (Sustentable, 2014).

En el caso de otros exagerados consumos están los descritos por El Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, quienes mostraron que en el mundo las edificaciones generan: “17% del consumo de agua dulce, 25% del consumo de madera cultivada” (Villabona, 2020).



*Figura 1. Eficiencia de una edificación sustentable*

Fuente: (Diario sostenible, 2014).

Por esto hace algunos años se ha buscado la manera de implementar en la construcción algunos métodos que ayuden a reducir estos altos números. Incluyendo por ejemplo el aprovechamiento de energía solar en algunas edificaciones, o el aprovechamiento de los vientos de la zona, o la climatología de la locación de la edificación para el uso de las aguas lluvias, entre muchos otros factores que pueden ayudar a que el sector de la construcción reduzca estas cifras que generan un gran impacto en el ambiente.

En el caso de Sur América poco a poco los países de van familiarizando con estos temas y con la idea de empezar a construir de un modo que se pueda ser amigable con el medio ambiente sacándole el máximo provecho a los diferentes factores de la zona.

Un claro ejemplo de esto es Chile quienes vienen desarrollando proyectos de viviendas donde logran “la reducción del consumo de energía en un 20% y 30%, el acondicionamiento térmico y uso de energías renovables” (Abril, 2019).

En el caso de Colombia el gobierno han implementado una serie de requisitos y documentos y/o cartillas donde se le especifica a las constructoras el tener en cuenta cuatro factores fundamentales a la hora de realizar una edificación, estos son: agua, suelo, materiales y energía. Lo que se busca al tener en cuenta estos factores es poder reducir el impacto, se solicita el uso de las aguas lluvias en el caso del factor agua, un posible uso del material de excavación en el caso del suelo, un uso de materiales que generen menos impacto ambiental en el caso de los materiales y en el caso de la energía el correcto aprovechamiento de la energía solar y la iluminación natural, entre muchas otras recomendaciones que se pueden encontrar en la cartilla Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana.

En la ciudad de Bogotá se encuentra el primer edificio residencial sostenible, el Edificio Kubik tiene la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) en categoría Gold. Este edificio cuenta con una serie de sistemas que permiten reducir el impacto ambiental, por ejemplo, el sistema de luces led en todo el edificio, y el programa de automatización que maneja la estructura para saber cuándo deben apagarse unas luces en caso de que lo estén ocupados los espacios y un sistema de calefacción centralizada. “El ahorro energético al combinar todo lo anterior se estima entre un 35 o 45% frente a uno tradicional” (Garavito, 2021).



*Figura 2. Edificio Kubik*

*Fuente: (Axxis, 2014)*

También hay proyectos en Colombia no solo para zonas de altos recursos, el gobierno busca implementar este tipo de edificaciones en viviendas de interés social, con una población a la que una reducción de energía les sería bastante beneficioso. Hay proyectos como el de Pablo Rodríguez donde hace un análisis de una vivienda de interés social en Guamal, Meta. El busca que este tipo de viviendas presente mejoras en su confort térmico por medio de estrategias pasivas, pues bien, se sabe esta zona del país es una zona con temperaturas altas, las cuales afectan el confort e incrementan el consumo de energía.

“Durante la última fase se propuso la implementación de estrategias pasivas orientadas hacia el mejoramiento de la calidad del confort térmico de la vivienda, logrando disminuir la temperatura operativa de la vivienda, sin generar impactos negativos a nivel ambiental, social y económico”

(Martinez, 2018). Rodríguez plantea la implementación de una chimenea de ventilación, incluyendo en esta una cubierta verde para un movimiento de ventilación más rápido y además de esto plantea una cubierta hecha en guadua, “reemplazando la cubierta de fibrocemento, disminuye las ganancias solares y la temperatura radiante además de aportar a nivel paisajístico y de identidad cultural y arquitectónica” (Martinez, 2018). Teniendo como plus el hecho de que la guadua es un material de la zona y con el cual reducirían un impacto ambiental al emplearlo.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1 TECNOLOGÍAS PASIVAS

Las tecnologías pasivas son un grupo de técnicas que se enfocan en el aprovechamiento de los recursos naturales de manera directa proyectando edificios que maximicen estos recursos y reduzcan el consumo de energía al máximo.

Su enfoque principal es el uso a favor de las propiedades que poseen ciertos materiales y las características de la construcción aprovechando los factores tanto geológicos como ambientales para lograr entornos sostenibles y armoniosos con el medio ambiente.

El diseño pasivo se focaliza la parte pasiva del edificio, quiere decir, en los elementos constructivos y materiales y utiliza los fenómenos naturales para acondicionar los espacios. Su calidad se define por la mayor o menor demanda de energía necesaria para ser una edificación habitable.

Los edificios “passivhaus” logran disminuir al menos un 75% las necesidades de calefacción y refrigeración y la energía adicional que se necesita se cubre con energías renovables, haciendo de esta una construcción con un bajo coste energético.

La mayor ventaja que posee la arquitectura pasiva es que esta, se vale de recursos naturales existentes, inagotables y gratuitos.

Las estrategias principales que posee el diseño pasivo se encuentran reunidas en tres grandes categorías:

- Calentamiento solar:

La característica que posee el calentamiento solar pasivo es el aprovechamiento de la energía que el sol proporciona, sabiendo que el sol es un recurso inagotable y gratuito. Es eficiente cuando la radiación es suficientemente intensa, posee el número adecuado de horas de sola al día y las estrategias que se apliquen para las pérdidas de calor como lo son: sistemas constructivos, acristalamiento eficiente y aislamiento de la envolvente los cuales minimicen los puentes térmicos e infiltraciones (García A. O., 2019).

- Ventilación natural:

Esta estrategia es la más eficiente, contiene 2 elementos fundamentales: el primero se basa en descargar de energía térmica a la edificación, esto quiere decir que busca reducir las temperaturas internas y el segundo se basa en mejorar el confort de los ocupantes, esto por medio de la disipación de calor (García A. O., 2019).

Esta estrategia lo que busca principalmente es posibilitar la entrada y salida del aire en el interior de la edificación. Dicha estrategia posee 3 categorías:

- i. Ventilación cruzada
- ii. Ventilación vertical
- iii. Ventilación + recursos adicionales

- Control solar:

El control solar se aplica para minimizar la entrada de radiación solar a la edificación cuando esta no resulta provechosa. El control solar es aplicado sobre todo cuando se hay requisitos de enfriamiento pues es importante reducir las ganancias solares para lograr confort sin necesidad de sistemas mecánicos de climatización.

## Características del diseño pasivo

Los elementos que componen el diseño pasivo son:

- ✓ Ubicación del edificio y orientación en el sitio
- ✓ Diseño del edificio
- ✓ Ubicación de ventanas
- ✓ Aislamiento térmico
- ✓ Masa térmica
- ✓ Sombreado
- ✓ Ventilación

Todos estos elementos son un conjunto y se consideran de manera integral (Pura, s.f.).

A partir de todo esto, se aplican cinco principios básicos en la construcción de la edificación:

1. Usar alto espesor de aislamiento térmico
2. Eliminar puentes térmicos, ofreciendo continuidad al aislamiento en toda la envolvente de la edificación
3. Incorporar puertas y ventanas con prestaciones térmicas altas
4. Asegurar hermeticidad al aire exterior
5. Acogerse a una ventilación mecánica que permita la recuperación de calor de alto rendimiento, entre el 80 y el 90 (%) de la energía que hay en la edificación.

Modelamientos:

Actualmente, se cuentan con un sin número de aplicaciones de modelado que permiten realizar simulaciones en 3D a través de un software especializado.

Básicamente, todos los modeladores que existen se reducen al mismo concepto, reducir la edificación a un modelo abstracto para manipular las propiedades que este posee de forma sencilla y conseguir resultados confiables, después de esto, se identifican las características de las superficies para realizar la simulación (A&SB, s.f.).

La forma de evaluar el desempeño durante la fase de diseño es a través de la simulación, por esto, se destacan 3 modeladores que son: Energy Plus, Ecotect y Design Builder.

Energy Plus:

Energy Plus es un programa de simulación energética que se usa para modelar el consumo de agua y energía en las edificaciones. Es uno de los más avanzados del mundo, se puede calcular y evaluar con un gran nivel de precisión los factores que afectan el desempeño energético de las edificaciones.

Este modelador no se usará, debido a que en este las edificaciones no tienen interfaz gráfica.

Ecotect:

Ecotect se basa su idea principal en que el diseño ambiental se trata más eficazmente cuando se encuentra en las etapas conceptuales de cada proyecto, por esto, el software brinda una retroalimentación analítica y visual a partir de ideas sencillas y a medida que se va avanzando con la información guía el proceso progresivamente. Las características principales de este software son: la luz del día, la radiación solar y las sombras y reflejos.

Design Builder:

Finalmente, Design Builder es la propuesta seleccionada para realizar este proyecto, pues es la más completa y sencilla de usar.

Design builder consiste en una agrupación de herramientas que sirven para modelar y evaluar sistemas de climatización, en este se incluye el uso de energías renovables minimizando los consumos energéticos.

Este programa posee 9 módulos y cada uno de ellos brinda un tipo de tarea específica que permiten estudiar las diferentes opciones de diseño para ofrecer un mejor rendimiento en términos de energía, coste y confort.

## 7. METODOLOGÍA

Para la ejecución del siguiente proyecto se realizarán una serie de pasos mencionados a continuación:

- ✓ Se realizó una revisión bibliográfica en diferentes bases de datos sobre las distintas tecnologías pasivas, su uso y la importancia que tienen en el confort térmico de las viviendas a partir de proyectos existentes.
- ✓ Se definieron las estrategias a usar: Control solar y ventilación, fundamentadas en los resultados del proyecto de maestría del Ing. Cristian Andrés Mejía Parada y considerando las necesidades que presentó el modelo base de la vivienda.
- ✓ Se incluyó la materialidad y las características propias que hicieron parte de la geometría y la configuración del modelo.
- ✓ Se identificó la localización de la vivienda del municipio de Bucaramanga, Santander determinando factores los factores que benefician el uso de las tecnologías pasivas.
- ✓ Se identificó la topografía de la zona.
- ✓ Se revisó el archivo climatológico de la base de datos del IDEAM y se analizó características medio ambientales tales como clima, temperatura, radiación solar, viento, humedad y sol determinando el rango de clima y los factores climáticos que inciden en la calidad del confort térmico de la vivienda.

- ✓ Se seleccionó el modelador Design Builder, teniendo en cuenta que es el software más completo y sencillo de usar, destacado por el uso de energías renovables que minimizan los consumos energéticos lo cual favoreció a las estrategias seleccionadas.
- ✓ Entrada de datos a partir del caso base.
- ✓ Se identificó las modificaciones que necesitaba la vivienda para el mejoramiento del confort térmico.
- ✓ Una vez se encontró un modelo ajustable, después de varias iteraciones, se analizaron y describieron los resultados arrojados en la simulación.

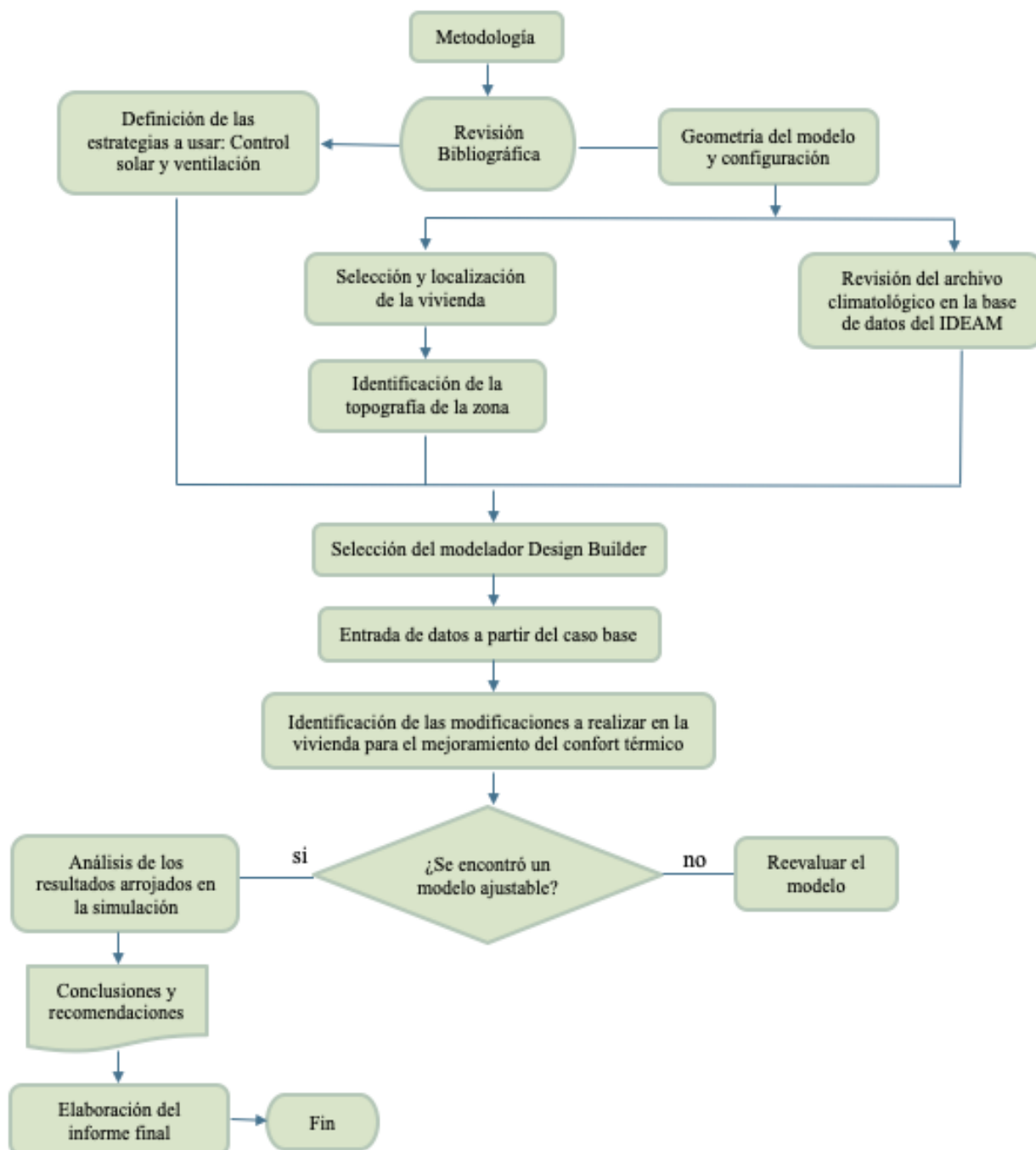


Figura 3. Diagrama metodológico

Fuente: Propia

## 7.1 ESTADO DEL ARTE

A nivel mundial el diseño pasivo en las edificaciones ha tomado más popularidad, esto debido a que ayuda a que el medio ambiente tome un respiro, pero la pregunta es: ¿Qué es el diseño pasivo y que lo conforma?

Pues el diseño pasivo es un método usado en la arquitectura de las edificaciones para lograr en estos un confort térmico agradable para sus habitantes (Studio, 2017).

Este método contempla muchos factores para obtener su objetivo principal, algunos de estos pueden ser el sol, la ventilación, las aguas lluvias, en incluso la ubicación y la orientación que tiene la estructura son esenciales para lograr ese objetivo que es el confort térmico. Además de lograr ese objetivo, el diseño pasivo ofrece un plus y es que, si el ser humano se encuentra cómodo con la temperatura de su hogar, no va a necesitar de realizar un consumo energético exagerado para buscar la temperatura ideal, sino que por el contrario permitirá que se reduzcan estos consumos dándole un respiro al medio ambiente y un impacto económico al usuario.

### 7.1.1 ESTRATEGIAS DEL DISEÑO PASIVO

Tabla 1. Estrategias del diseño pasivo

| <b>Estrategias Generales</b>                             |           |                                |
|--|-----------|--------------------------------|
| <b>Diseño del edificio</b>                               | <b>DE</b> | Ubicación y orientación        |
|  |           | Compacidad                     |
|  |           | Masa térmica                   |
| <b>Estrategias pasivas solares</b>                       |           |                                |
| <b>Control solar</b>                                     | <b>CS</b> | Asoleamiento                   |
|  |           | Sistemas de protección solar   |
|  |           | Sistemas de protección fijo    |
|  |           | Sistemas de protección móviles |
| <b>Estrategias pasivas de aprovechamiento del viento</b> |           |                                |
| <b>Recuperador de calor en la ventilación pasiva</b>     | <b>RC</b> | Flujo cruzado                  |
|  |           | Flujo paralelo                 |
|  |           | Flujo rotativo                 |
| <b>Ventilación natural</b>                               | <b>VN</b> | Ventilación cruzada            |
|  |           | Ventilación convectiva         |
|  |           | Ventilación inducida           |
| <b>Tratamiento del aire</b>                              | <b>TA</b> | Enfriamiento evaporativo       |

Fuente: Propia

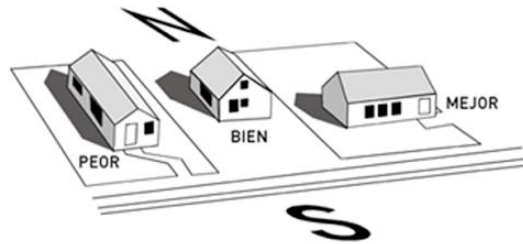
#### **Estrategias Generales**

Ubicación y orientación:

La ubicación y orientación de la edificación es parte fundamental para el diseño pasivo, su orientación influye notoriamente en el aprovechamiento de las características medioambientales para la reducción del consumo energético dentro de la misma.

Al momento de seleccionar la orientación es esencial tener en cuenta la localización geográfica de la edificación. Generalmente, la orientación recomendada para climas cálidos y templados es norte - sur y para climas fríos noreste – sureste o este – oeste. Sin embargo, se deben tener en cuenta las necesidades que la misma tiene, existen casos en los que no se logra una orientación ideal por lo

que es necesario la implementación de mecanismos fijos o móviles que permitan optimizar dicho recurso (Menjivar, 2013).



*Figura 4. Orientación adecuada de una edificación*

Fuente: (Guerra Menjívar, 2013)

Compacidad y Factor de forma:

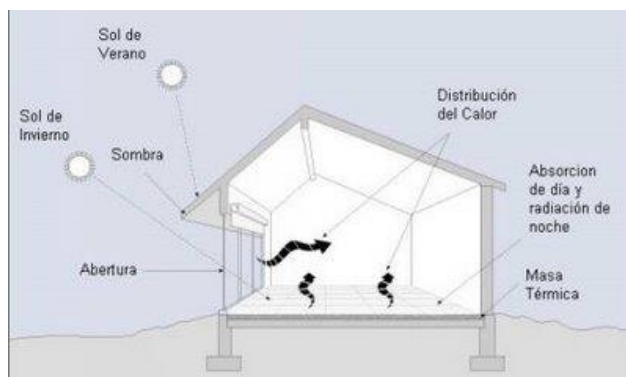
Estos dos factores son estrategias esenciales a la hora de buscar un confort térmico en una edificación, esto porque el factor forma busca obtener un aprovechamiento del factor climatológico de la zona y el entorno de la edificación. Este factor forma es basado en la superficie envolvente y el volumen. Por medio de un índice calculado entre el cociente de la superficie y el volumen se busca obtener un resultado apto para teniendo en cuenta claramente del clima donde se encuentra este.

Por otro lado, la compacidad lo que registra son los puentes térmicos en la edificación, y con esto se deduce que compacidades elevadas significan una menor probabilidad de existencia de puentes térmicos sujetos a la envolvente, aunque también aumenta el riesgo de originar dificultades de ventilación e iluminación natural en espacios interiores al minimizarse el contacto con el exterior.

Masa Térmica:

Se le conoce como masa térmica a un tipo de mampostería la cual tiene la capacidad de acumular energía calórica en ventanas, paredes y pisos durante un periodo de tiempo para prevenir fluctuaciones grandes de temperatura al interior de la vivienda y distribuir dicha energía en forma de calor en las épocas de invierno y de manera contraria, en forma de frío en épocas de verano, evitando así las temperaturas extremas en cada una de las estaciones del año.

Existen materiales con más masa e inercia térmica que otros, dicha propiedad depende directamente del calor específico y la conductividad térmica y se relaciona con la cantidad de calor que conserva un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe del entorno (Chile, 2012).



*Figura 5. Masa térmica*

Fuente: (Arkiplus, 2020)

## **Estrategias Pasivas Solares**

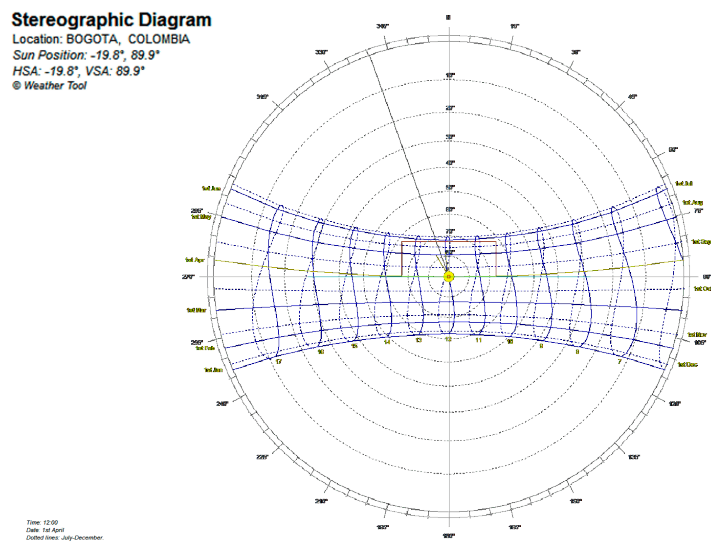
### **Control Solar:**

Lo que se busca por medio del control solar es reducir las temperaturas provocadas por el calor solar y a su vez aprovechar la luz natural que arroja la misma, esto buscando minimizar costos por consumo energético y mejorar el confort térmico en las edificaciones. Por medio de diferentes técnicas se es posible cumplir con lo anteriormente dicho, técnicas que varían dependiendo de la localización de la estructura, el entorno, la topografía y muchos otros factores que se deben tener

en cuenta a la hora de buscar un mejor confort térmico. A continuación, se describen algunas técnicas empleadas a nivel mundial para el control solar.

**Asoleamiento:**

El asoleamiento es considerado dentro de las estrategias para un diseño bioclimático porque es una pieza clave a la hora de buscar el confort térmico dentro de una edificación, y a su vez obtener un aprovechamiento solar para la misma. Vale la pena recalcar que para saber las condiciones de asoleamiento que tendrá la edificación se deben verificar factores climatológicos y la trayectoria solar la cual se puede obtener por medio de cartas solares, pero además de esto claramente se debe verificar el entorno.



*Figura 6. Carta solar para latitud  $20^\circ N$*

Fuente: (Institut Catalá d'Energia, 2017)

Con el pasar de los años ha avanzado la manera de obtener la información de la ubicación del sol y su ángulo de giro, hoy en día a pesar de que se continúa usando la carta solar se puede también

obtener esta información por softwares de simulación como lo son Design Builder, Gesosol, SOL-AR, entre otros (Parada, 2021).

Sistemas de protección solar:

Los sistemas de protección son una estrategia pasiva bastante importante a la hora de buscar el confort térmico de una edificación, además de esto gracias a los sistemas de protección solar es posible minimizar el consumo energético de los sistemas electrónicos que crean un ambiente cómodo dentro de la edificación. Estos tipos de protectores solares muchas veces están al interior de los recintos para evitar el ingreso de la radiación a las instalaciones (Farto, 2018).

Como se dijo anteriormente en algunos casos los protectores solares pueden estar en el interior de las edificaciones y también pueden estar ubicados justo afuera de las mismas. Existen diferentes sistemas de para esto como lo son el caso de persianas, polarizados, cortinas, entre otros para el caso del interior y para el exterior se manejan ejemplos como cortinas exteriores, toldos, velarías, entre otras.



*Figura 7. Persiana como protector solar*

Fuente: (Inarquía, 2016)

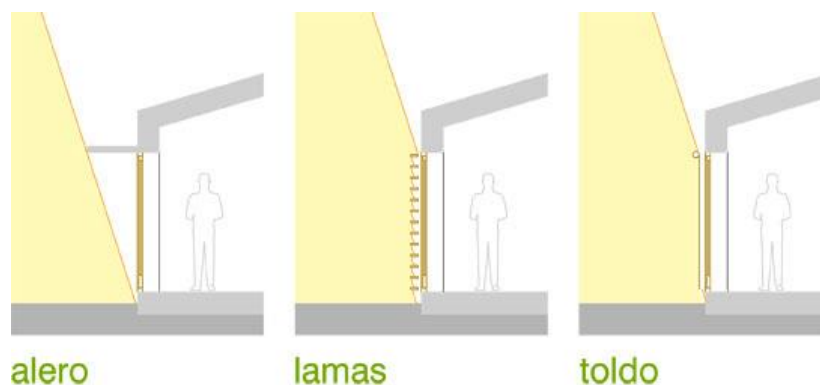
Sistemas de protección solar fijo:

Estos tipos de sistemas para la protección del confort térmico de una edificación impiden el paso de la radiación y la reducción del confort por medio de herramientas que acordes a la estructura pueden ser establecidas para cumplir con la función de reducir el consumo energético y mantener una temperatura agradable. Estos pueden ser:

**Aleros:** Un alero o voladizo consiste en una extensión del tejado o elemento sobresaliente del plano vertical de la estructura que tiene como función la protección de la estructura de la radiación solar e incluso del agua de lluvia.

**Toldos:** Un toldo o una lona es una cubierta de material textil dispuesta en los exteriores de algunas estructuras para crear sombra y protección de la lluvia en algunos casos dependiendo de la climatología de la zona.

**Lamas:** Las lamas son un sistema de piezas alargadas y planas similares a las persianas y pueden ser de diferentes tipos de materiales, también tienen como función controlar la radiación solar para crear espacios con buen confort térmico.



*Figura 8. Tipos de protecciones solares*

Fuente: (BIU Arquitectura y paisaje, 2012)

Sistemas de protección solar móviles:

Este sistema es realmente útil ya que permite el acondicionamiento según la necesidad que se tenga, es decir se acopla a la posición y a la geometría que se desee para cumplir con la protección solar a cabalidad, claramente al ser un sistema tan eficiente resulta ser algo ms costoso. Un claro ejemplo de esto pueden ser lamas como en los sistemas de protección solar fijos, pero en este caso el sistema de lamas es acondicionable (Parada, 2021).



*Figura 9. Protección solar – sistemas de lamas fijas y móviles*

Fuente: (Protección solar, 2012)

## **Estrategias Pasivas de Ventilación**

### Ventilación Natural

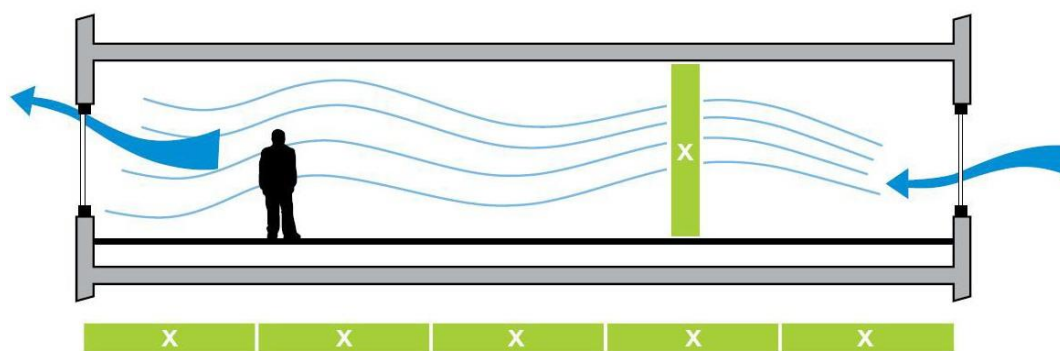
La ventilación natural se da cuando existe un intercambio de aire provocado por las diferencias de temperatura y acción del viento. El viento tiene repercusión en el aislamiento térmico y en las infiltraciones de aire que hay en las edificaciones.

El uso correcto de esta estrategia ofrece confort térmico y ahorro de energía en un gran porcentaje sobre todo en regiones con climas cálido – seco, a partir del aprovechamiento de un recurso natural.

En este proceso, el movimiento de aire es muy importante por lo que la humedad, temperatura, velocidad y dirección del aire son factores claves.

Ventilación cruzada:

Consiste en crear aberturas ubicadas de forma estratégica en paredes opuestas / contrarias para que la entrada y salida del aire en el interior de la edificación cuando estas se encuentran abiertas sea de forma sencilla, el flujo saca el aire de alta temperatura y lo reemplaza por uno de menos temperatura proveniente del exterior, dicha técnica funciona solo si la distancia entre las aberturas no es mayor a 5 veces la altura de piso a cielo sin pasar los 15 metros longitudinales como se muestra en la figura 9. Generalmente, se recomienda para edificaciones ubicadas en zonas de altas temperaturas para reducir la temperatura interna y zonas donde la magnitud del viento promedio mensual sea mayor a 2.5 m/s. Para lograr una adecuada ventilación cruzada es de suma importancia ubicar las aberturas de forma que se aprovechen las presiones tanto altas como bajas que forman los vientos, hacer que los flujos de aire incidan ampliamente en el interior, utilizar muros divisorios que sean bajos y que no obstaculicen el flujo de aire y tener presente que el dimensionamiento de las aberturas genere flujos con velocidades ideales.



Regla de la ventilación cruzada - arriba de 5 veces el ancho de la altura del suelo al techo.

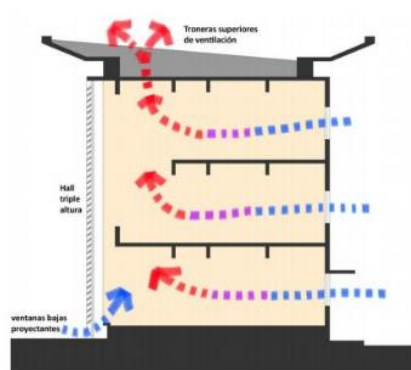
*Figura 10. Estrategia de ventilación cruzada*

Fuente: (Gramas, 2012)

Ventilación convectiva:

Hay 3 formas de transportar calor y la convección es una de ellas y se genera por el movimiento del fluido.

Se conoce como ventilación por efecto convectivo o efecto “stack”, dicha técnica, usa la estratificación producida por la temperatura que posee el aire, esto quiere decir que, a medida que la temperatura del aire se eleva, es decir se calienta, sube debido a que es menos denso, y este es eliminado y reemplazado por el de menor temperatura que ingresa del exterior, por lo que dicha técnica solo funcionara siempre y cuando el aire del exterior sea menor que el del interior y exista una diferencia entre la temperatura de  $1,7^{\circ}\text{C}$ . Al contrario de la ventilación cruzada, la ventilación convectiva no posee dependencia de la velocidad del viento, por lo que se puede aplicar en zonas donde esta sea inferior a los  $2,5\text{ m/s}$ .

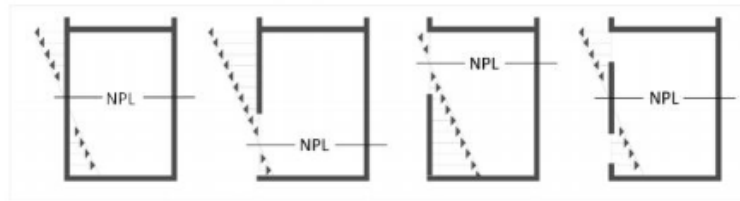


*Figura 11. Estrategia de ventilación convectiva*

Fuente: (CITECUBB, 2012)

Para aumentar la eficacia de este método se pueden usar distintos sistemas como: torres evaporativas, torres de viento, efectos chimenea y chimeneas solares.

Es necesario diseñar pensando que el “stack” sea lo suficiente alto para que el NPL (nivel neutro de presión) quede ubicado sobre el edificio y se logre sacar todo el aire caliente como se muestra en la figura 12.



*Figura 12. Diagramas en corte de niveles de presión neutra (NPL)*

Fuente: (CITECUBB, 2012)

Ventilación inducida:

Teniendo en cuenta que, tanto para exteriores como interiores, el aire frío baja y el aire caliente sube por ser más ligero, esta estrategia saca provecho del aire caliente que sube de manera que por medio de aberturas cerca del suelo el aire frío entre y empuje el volumen de aire caliente hacia arriba donde habrá aberturas para que este salga. Este sistema tiene buenos resultados en zonas de gran altura con clima cálido.

Existen unas guías para la localización de aberturas de entrada y salida, para espacios residenciales debe haber un mínimo de 3 metros de separación de las aberturas y para espacios comerciales un mínimo de 4.6 metros. Las aberturas de entrada se deben localizar entre 0.76 – 1.37 metros por debajo de la altura del torso de los ocupantes y entre más grande sea la separación entre aberturas habrá mayor movimiento de aire.

Tratamiento del aire

Enfriamiento evaporativo:

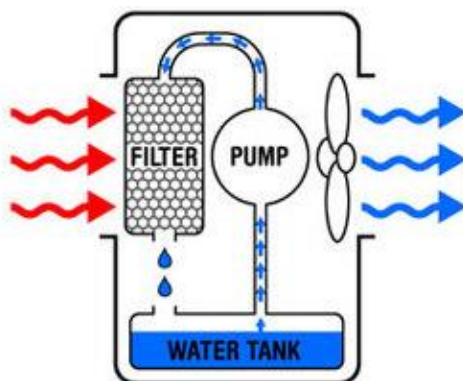
El enfriamiento evaporativo es un proceso en el que se utiliza agua como método de enfriamiento y aire para disipar el calor a la atmósfera lo cual hace que se reduzca la temperatura y se cree un intercambio de energía con el aire, además de esto, contribuye con la reducción de la huella de CO<sub>2</sub>.

Este método propone grandes ventajas entre las que se encuentran: ahorro energético, respeto al medio ambiente, no afecta a la legionela, añade humedad en climas secos, renueva aire interior, bajo impacto acústico, entre otras.

Este método consiste en recoger el aire caliente y seco que entra en un panel de enfriamiento con agua fría haciendo que este se evapore y la temperatura baje, similar al método que el cuerpo humano utiliza cuando genera sudor. Existen 2 métodos en enfriamiento evaporativo:

Enfriamiento evaporativo directo: El aire pasa directamente al espacio que se quiere enfriar después de pasar por el evaporador que lo enfría y humidifica. Efectivo en aire exterior seco y caliente.

Enfriamiento evaporativo indirecto: Tras pasar el aire por el evaporador, resta el calor de un intercambiador y enfría el aire sin humidificarlo. Efectivo en aire caliente, pero con humedad alta.



*Figura 13. Estrategia de enfriamiento evaporativo*

Fuente: (Barquero, D, 2018)

## **Recuperadores de calor en la ventilación pasiva**

El enfoque principal de los sistemas pasivos es el ahorro energético y su consumo casi nulo, por esto, se crearon los sistemas de recuperadores de calor de manera que el aire entrante y el aire saliente hagan un intercambio de calor. En caso de que la temperatura externa sea menor que la interna, este recuperador hará que el aire ceda su calor antes de salir al aire de refrescamiento y de igual manera en sentido contrario.

Para que un recuperador de calor sea certificado, este debe certificar que posee un rendimiento de al menos un 75% (Ezquerro, 2019).

Tipos de recuperadores de calor:

- ✓ Por flujo cruzado: conductos perpendiculares.
- ✓ Por flujo paralelo: más tiempo de interacción térmica entre los ductos.
- ✓ Por flujo rotativo: poseen motor, son más elaborados, pero menos eficientes.

El término “Passivhaus” ha ido cobrando mucha importancia a lo largo del tiempo, a pesar de haber surgido hace unos 30 años aproximadamente, es hoy en día que ha tomado más fuerza a raíz de la problemática ambiental que se está viviendo en el mundo.

Alrededor del mundo se han aplicado tecnologías pasivas en diversos proyectos, algo realmente útil de este diseño es que no necesariamente se puede aplicar a un proyecto desde sus inicios, sino que se puede implementar a una estructura ya terminada.

Para fundamentar la eficacia del diseño pasivo en el confort térmico y la reducción de la demanda energética existen varios proyectos que respaldan dicha efectividad, algunos con mejores resultados que otros, pero siempre en pro del usuario y del medio ambiente. Hay proyectos

enfocados en la ventilación, otros en el control solar e incluso hay proyectos que involucran ambas estrategias, esto dependiendo de las necesidades que esta tenga.

A nivel internacional, existen proyectos enfocados en diversas estrategias, para la ventilación se destacan proyectos como la casa Jacobs 1, caso en el que se realizó un análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright, quien es uno de los arquitectos que mas influencia tiene en la historia, proyecto que tuvo lugar en Wisconsin, EE. UU en 1937 y la aplicación de sistemas de ventilación natural en las habitaciones de un conjunto de viviendas multifamiliares en el distrito de Pichanaki, Perú, enfocado principalmente en el confort térmico de las mismas teniendo en cuenta que este es un distrito con temperaturas que sobrepasan los 30°C y con altos niveles de humedad.

En ambos casos, se realizaron simulaciones teniendo en cuenta el archivo de datos climatológicos de cada zona, evidenciando que los días en los que se alcanzan mayores temperaturas en dichos lugares, la vivienda con ayuda de esta estrategia, logra permanecer relativamente fresca, alcanzando una temperatura confortable para el usuario.

Estos dos proyectos concluyen en que la orientación tiene gran influencia para lograr confort térmico por medio de la estrategia de ventilación, debido a que el flujo constante de aire dentro de la misma depende directamente de que la ubicación de las aberturas corresponda con la dirección del flujo.

También, están los proyectos enfocados en el control solar, uno que busca analizar energéticamente un proyecto real desde el archivo municipal de Badalona, España, sin necesidad de alterar el proyecto del arquitecto o la funcionalidad de la vivienda y el otro que busca implementar estrategias de diseño solar pasivo en viviendas de la ciudad de Loja, Ecuador, para lograr un confort térmico dentro de las mismas.

El principal enfoque que poseen ambos proyectos es la reducción de la demanda energética mediante sistemas pasivos de control solar.

Los proyectos se encuentran en una zona con clima templado, uno busca mejorar los resultados lumínicos y el otro busca abrigar la vivienda en su interior sin que se sobrecaliente por lo que en ambos fue necesario aplicar dicha estrategia y acudir al software design builder y ecotect en la etapa de simulación.

Ambos proyectos concluyeron que el control solar, es la estrategia más adecuada con el clima que manejan estas zonas, teniendo en cuenta que el clima se asemeja, además de esto, encontró una reducción considerable de demanda energética y sobretodo una mejora en el confort térmico dentro de las mismas.

Por otro lado, se cuenta con proyectos en los que fue necesario aplicar varias estrategias para lograr dar solución a las necesidades que se tenían en busca de confort térmico.

Alrededor del mundo existen diferentes climatologías, cada una de ellas con diversas necesidades, lo que implica que no todas las estrategias son aplicables en todos los tipos de vivienda, por esto es importante tener en cuenta algunos factores a la hora de realizar un diseño pasivo.

En México, la energía es la fuente principal de ingreso público. Un estudio de vivienda Net-Zero en Mexicali tomo dos viviendas ubicadas en una zona con clima desértico, una de ellas como caso base, es decir sin ninguna estrategia aplicada y otra Net-Zero, donde hicieron simulaciones térmicas para evaluar el comportamiento térmico, el consumo eléctrico de la vivienda, el consumo con tecnologías, el impacto de carga térmica y descuento en sistemas de refrigeración y la capacidad necesaria por el sistema fotovoltaico, todo esto buscando una vivienda bioclimática, sustentable y que use energías renovables. Una vez finalizada la investigación se evidencio que el

consumo total de energía paso de 14.703.96 Kwh a 7.351.60 Kwh, mostrando una reducción considerable de 7.352.36 Kwh.

En la ciudad de Cochabamba, Bolivia, se realizó un estudio al confort térmico de 3 viviendas con características similares construidas en ladrillo cerámico como lo muestra la figura 14, pero con orientación e implantación diferentes. Para este caso, se tuvo en cuenta variables externas medio ambientales, variables internas (envolventes), parámetros arquitectónicos y variable hombre (usuario).

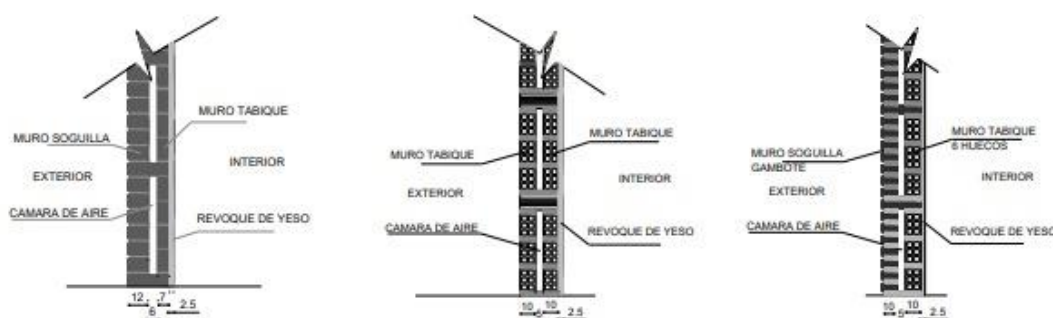


Figura 14. Muros exteriores con aislamiento térmico para paredes lado S, SE, SO

Fuente: (Cabrerizo B, 2012)

Basados en que Cochabamba posee un clima soleado primaveral con una exposición al sol de aproximadamente 11.06 horas que favorece la captación de calor para la época de invierno, se realizó la simulación con lo cual se planteó calentamiento pasivo para las mañanas frías y para las tardes calurosas ventilación natural y controlada, humidificación de los ambientes y mejoramiento de la inercia. En conclusión, el proyecto maximizó ganancias de calor por radiación solar con muros captadores, incremento la humedad relativa y permitió el flujo de aire en verano.

La mayor energía en Maracaibo, Venezuela se gasta en aire acondicionado debido a las altas temperaturas que tiene esta ciudad, es por esto que se realizó un estudio experimental que arrojo

resultados acerca del comportamiento térmico que tenían los sistemas pasivos en enfriamiento para dicho clima cálido – húmedo.

Para este proyecto, se planteó el método techo – estanque para mejorar la ventilación, en el que se fabricaron 2 módulos, uno de control y el otro experimental, se ubicaron en el techo de una edificación de 7 pisos y se les realizó 7 experimentos, se aplicaron técnicas de enfriamiento como: enfriamiento evaporativo indirecto (EEI) y enfriamiento radiativo nocturno (ER) mezcladas con pantallas de protección solar, aislamiento térmico y agua confinada como masa térmica. Los datos arrojados por el experimento denotan mayor eficiencia de enfriamiento en el #3: enfriamiento evaporativo indirecto y protección solar seguido por el #7: enfriamiento radiativo nocturno, enfriamiento evaporativo indirecto, masa térmica y protección solar.

Para el clima tropical que posee Itá, Paraguay, se encontró un estudio de en busca de una mejor eficiencia energética en viviendas unifamiliares, buscando un ahorro considerable de energía dentro de la misma. Se realizó un comparativo entre las mediciones en campo del consumo energético y las obtenidas por el simulador design builder, además se hizo un consenso de los artefactos con más consumo de energía y se determinó que eran la ducha eléctrica en un 22.36% y la iluminación en un 24.95% para un total de 47.31%. debido a esto se planteó disminuir la ventilación mecánica y usar iluminación natural, colocando 2 ventanas en la parte alta del pasillo en forma triangular mejorando el flujo de aire con lo que se obtuvo un ahorro de 8.7Kwh/mes y una disminución de la temperatura en aproximadamente 1°C. El estudio afirma probable instaurar una propuesta tecnológica y constructiva para lograr confort, minimizar costos e impacto de la edificación en el medio ambiente.

El clima mediterráneo posee inviernos templados, otoños cálidos, primaveras lluviosas y veranos secos. En esta zona se realizó un estudio de las estrategias pasivas de optimización energética en

una vivienda social con este clima. Se tomó como modelo base una edificación plurifamiliar de densidad media con planta baja de uso comercial y cuatro plantas residenciales considerando factores como la orientación, prestaciones energéticas de la envolvente térmica, tasa de ventilación y adecuada protección solar y se realizó un análisis energético incorporando estrategias como la compactación, materialidad de la envolvente, control solar, acumuladores solares y ventilación de forma individual por medio del simulador Design Builder. Se concluyó que la orientación del edificio y la compactación disminuyen la demanda energética de manera considerable, la tasa de ventilación es decisiva para el balance energético, la combinación de la mejora de tasa de ventilación y protección solar suponen una mejora energética de hasta 70 – 75 % y se consigue reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Cuando las residencias individuales poseen distinta localización, formas y ocupaciones requieren un estudio particular, por lo que las simulaciones deben reconocer aspectos significativos para un estudio adecuado. En el centro sur de Chile se tomó un proyecto con estas características en el que se tuvo en cuenta antecedentes relevantes para la simulación energéticas tales como: modelación, materiales y equipamiento, calidad constructiva, ocupación, clima y rango de confort.

Otro modo de lograr un confort térmico es modificando la materialidad de la envolvente, para una zona con verano e invierno, se realizó un análisis del comportamiento térmico de viviendas sociales mediante esta modificación. El principal objetivo de esta investigación fue obtener confort térmico casi a costo cero y por medio de esto reducir el consumo energético con ayuda de una simulación en el simulador Energy Plus. Una vez reemplazado el material de la envolvente con ladrillos cerámicos, bloques de concreto y tapia se realizó una serie de pruebas para verano con una temperatura máxima de 35.6° y para invierno con temperaturas mínimas de -2.4° lo cual concluyo que para verano se deben aplicar estrategias como ventilación selectiva y protección solar móvil y



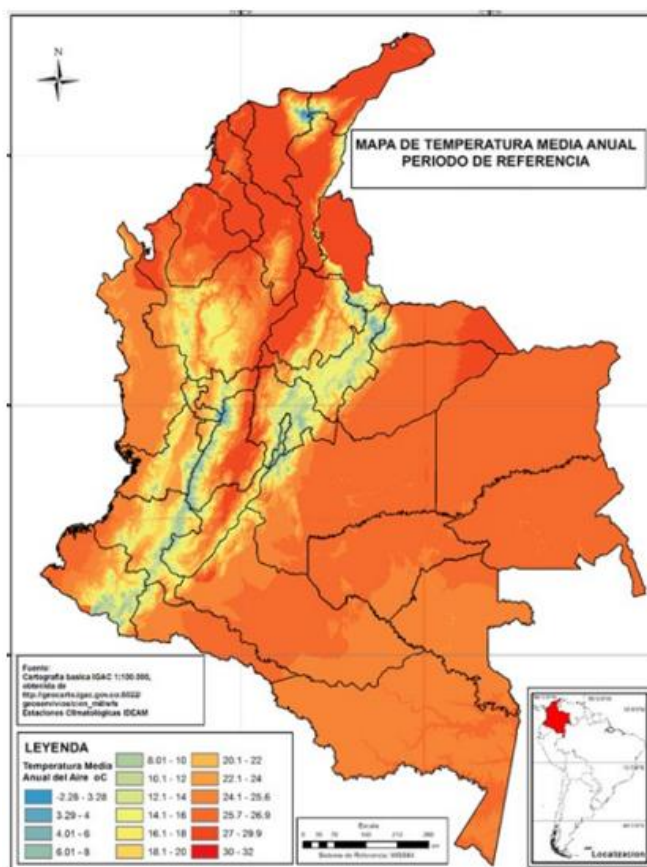
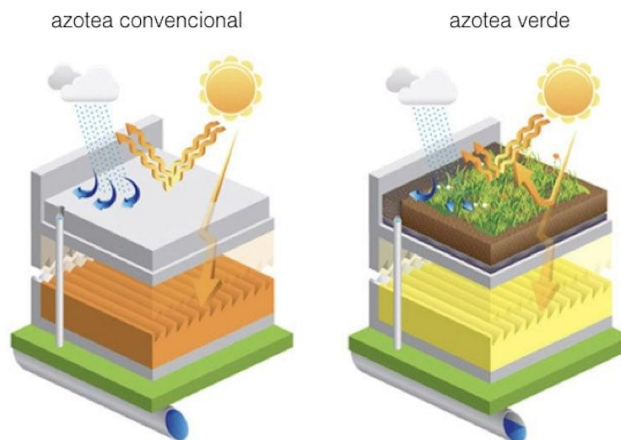


Figura 16. Mapa de temperatura media anual

Fuente: (IDEAM, 2018)

La aplicación de la estrategia de ventilación natural es necesaria sobre todo en las ciudades más calurosas del país. En Acacias, Meta, se analizó la aplicación de estrategias pasivas a una vivienda campestre para conseguir confort térmico y minimizar el consumo energético. Acacias es un municipio con una tipología de clima bastante particular, cálido – húmedo – tropical, por lo que se implementó alternativas pasivas para controlar la temperatura sobre todo en las horas pico por medio de ventilación cruzada y evaluando la incidencia de la materialidad. Se realizó un estudio de los factores claves como la climatología, topología y materialidad, con lo que se concluyó que, con una correcta implantación, orientación de la estructura, un cambio en la materialidad de la

fachada y una cubierta verde como se muestra en la figura 17, se generó mayor confort térmico en la vivienda con el uso de recursos bióticos.



*Figura 17. Azotea convencional vs Azotea verde*

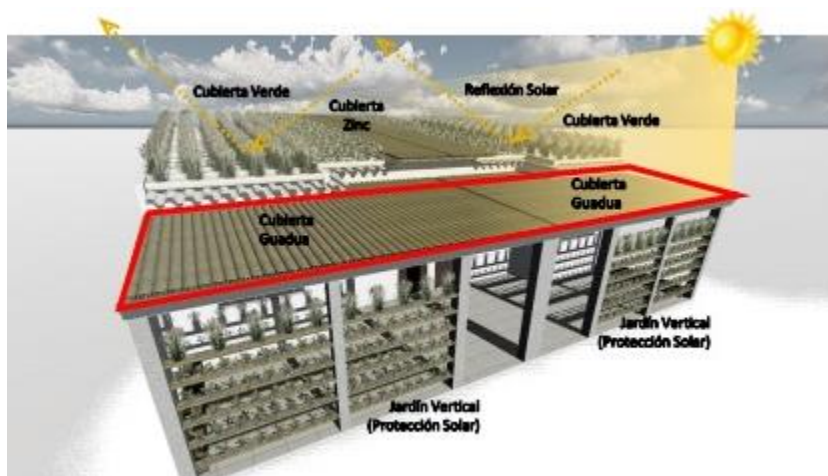
Fuente: (Pacheco I, 2017)

En las viviendas de interés social (VIS), el confort y la calidad del aire son agentes que no son tenidos en cuenta por los diseñadores ni los asuntos de sostenibilidad ecológica, esto debido al desconocimiento del manejo científico del confort por medio de estrategias pasivas y a la poca rentabilidad que representan para el estado este tipo de proyectos.

Cali, Valle del Cauca, es de las ciudades que posee temperaturas bastante altas con un clima ecuatorial, sobre todo en las horas del mediodía con una insolación de al menos  $870 \text{ W/m}^2$  y vientos con calma lo que hace que las VIS sean prácticamente inhabitable la mayor parte del día. En este proyecto se trató la ventilación y la carga térmica, para solventar estas necesidades, se pintó de blanco la cubierta para reducir la absorción de radiación, se instaló barrera radiante con película, se dispuso de un entretecho de cielo falso en panel – yeso con aislante de lana de vidrio dejando lugar a la circulación de la salida del aire y por finalmente se implementó chimeneas solares para renovación de aire y evacuación de calor denotando su efectividad por inducción de corrientes de aire incluso durante el periodo de viento en calma. Se concluyó que dicho método fue funcional

tanto para diseños nuevos como remodelaciones siendo de bajo presupuesto y que es posible aplicarlo en zonas con viento en calma e insolación intensa consiguiendo calidad de aire y confort en la estructura.

En Guamal, Meta, se encontró otro proyecto VIS con características similares al anterior mencionado, donde se evidencia la necesidad de confort térmico como consecuencia de la baja inversión en materiales para la construcción y la poca importancia que se le da a este tipo de proyectos. Se basó en el estudio de las variables de morfológicas, materialidad de la envolvente y el aprovechamiento de los vientos predominantes. Este proyecto planteo una alternativa distinta a todas las que se mencionaron anteriormente, el uso de recursos bióticos propios de la zona simulando una cubierta en guadua como lo muestra la figura 18 que disminuyo las ganancias solares y la temperatura aportando un diseño paisajístico acorde a la zona.



*Figura 18. Cubierta en guadua*

Fuente: (Rodríguez P, 2018)

Además de esto, como se evidencia también en la figura 18, se simuló una cubierta y fachada verde, la reubicación de ventanas acristaladas con aperturas del 20% y se realizó una serie de cambios al interior de la vivienda. Finalmente, se concluyó que el proyecto sí es viable aportando

confort térmico y disminuyendo el consumo de energía, pero no está al alcance económico del tipo de usuario que habita la vivienda.

Es de conocimiento que las tecnologías verdes poseen múltiples beneficios para el usuario, pues producen grandes cantidades de oxígeno y absorben emisiones de CO<sub>2</sub> reduciendo el impacto ambiental.



*Figura 19. Muro verde ligero*

Fuente: (Bernal D, 2019)

Fue el caso de la capital colombiana donde en una edificación dotacional se hizo la simulación respectiva de las estrategias de ventilación natural usando muros verdes. Teniendo en cuenta factores como el clima, criterios de diseño y materialidad se logró regular el confort térmico, la eficiencia energética con ayuda de muros verdes y ventanería, por consiguiente, se mejoró la calidad de vida al reducir el uso del aire acondicionado en un 1.728 Kwh/año y se redujo el impacto económico.

Otro caso similar se presenta en La Mesa, Cundinamarca, donde se hizo uso de cubierta verde en clima cálido – seco para conseguir confort térmico y se intervino en la materialidad de la envolvente. En este caso en particular, los constructores no tuvieron en cuenta factores determinantes como la materialidad y la ventilación, concluyendo que, por una mala selección de



materialidad, por fallas en la ubicación de la ventilación y falta de aprovechamiento de los recursos naturales se redujo la eficiencia del modelo.


La implementación de tecnologías pasivas no se limita solo al uso residencial, si no también es aplicable en oficinas, como lo es el caso de Cúcuta, Norte de Santander se realizó un diseño bioclimático para clima cálido – seco enfocado en conseguir eficacia del ambiente, una temperatura operativa y una percepción de confort en áreas de trabajo. Se resaltó la implementación de una cámara de aire representada con circulaciones a lo largo y ancho de la fachada externa con el fin de moderar el impacto de la radiación solar y crear un efecto de enfriamiento del viento que ingresa por los orificios de la celosía generando así iluminación natural y por supuesto ventilación natural.


En el área metropolitana de Bucaramanga se desarrolló un análisis de propuesta sustentable para proyectos de viviendas “VIS”, de interés social. bajo la metodología NZEB (Net Zero Energy Buildings), como es bien sabido, Colombia posee alto déficit habitacional, por lo que es necesaria la construcción en masa de viviendas de interés social que contrarresten de cierta manera esta problemática, pero también trae consigo el aumento de consumo de energía, es por esto que se planteó un estudio de una propuesta sustentable basada en NZEB. Para su desarrollo, se tomó un proyecto VIS y se le realizó un estudio energético que dio como resultado la necesidad de uso de estrategias que beneficiaran el confort térmico del edificio, por lo que se realizaron 23 simulaciones además de la inicial y con base a estos, se plantearon 8 modelos integrados que arrojaron que las estrategias con mayor repercusión en el balance térmico fueron protección solar y ventilación natural. Finalmente, se diseñó un sistema solar fotovoltaico que arrojó un ahorro de 65% que amortizan la inversión inicial en un periodo no mayor a los 10 años, por lo que determino el que proyecto si es viable tanto económica como socialmente.


Con los resultados arrojados en cada uno de los proyectos que se mencionaron a continuación, se determinó que el análisis del clima y la orientación son fundamentales a la hora de diseñar una edificación que incluya las tecnologías pasivas, pues una vez analizados estos factores, se definen las alternativas para controlar la sensación de confort. La modificación en la materialidad de la envolvente también reduce considerablemente las ganancias térmicas y así como los mencionados anteriormente, cada una de las estrategias que viablemente se apliquen a una vivienda siempre serán en pro del bienestar y poco o mucho van a mejorar la calidad de vida al interior de estas y no solo a nivel de confort sino también a nivel económico, pues la reducción del gasto energético se verá reflejado en el pago de los servicios públicos.



Tabla 2. Proyectos de estrategias pasivas




| Título  | Ciudad / Dpto         | Clima    | Autor                       | Estrategia  | Modificaciones   |
|---|-----------------------|----------|-----------------------------|---|--|
| <p><b>Uso de estrategias pasivas para mejorar el confort térmico y reducir el consumo energético en vivienda campestre localizada en Acacias, Meta.</b></p> | Acacias, Meta         | Tropical | (Sanabria Contreras , 2018) |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubierta a dos aguas</li> <li>• Ventanales por rejilla</li> <li>• Muros enfocadores adiabáticos</li> <li>• Redistribución interior</li> <li>• Perforaciones en cubierta con protección tipo chimenea para baños, cocina y zona de ropa</li> <li>• Pintura reflectiva para techos y paredes</li> <li>• Control solar externo en ventanas (pérgolas y aleros)</li> <li>• Aislamiento de techo (cielo raso)</li> <li>• Aislamiento térmico de paredes externas</li> <li>• Vidrio de baja emisividad</li> <li>• Calentadores solares</li> <li>• Orientación de la zona social por vientos y asolación</li> <li>• Ventilación cruzada</li> </ul> |
| <p><b>Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial.</b></p>   | Cali, Valle del Cauca | Tropical | (Giraldo & Herrera, 2015)   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muros en panel – yeso</li> <li>• Cubierta de fibrocemento pintada de blanco</li> <li>• Instalación de barrera radiante con película de aluminio</li> <li>• Cielo falso en panel – yeso con aislamiento de lana de vidrio</li> <li>• Efecto chimenea</li> </ul>  |



| Título   | Ciudad / Dpto                     | Clima           | Autor                            | Estrategia  | Modificaciones   |
|--|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|---|--|
| <p><b>Estrategias de diseño bioclimático enfocado en el confort térmico.</b></p> | <p>Cúcuta, Norte de Santander</p> | <p>Tropical</p> | <p>(Hernández Sánchez, 2018)</p> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialidad de muros</li> <li>• Iluminación natural por radiación directa</li> <li>• Abertura y altura en las cubiertas</li> <li>• Abertura y altura en la fachada con acristalamiento horizontal continuo</li> <li>• Orientación</li> <li>• Fachada en bahareque</li> <li>• Particiones internas en ladrillo arcilla</li> <li>• Cubierta en tejas de barro</li> <li>• Acabado de piso en cerámica</li> <li>• Reubicación de zonas internas en ambas plantas</li> <li>• Cámara de aire con circulaciones a lo largo y ancho de la fachada externa</li> </ul> |






| Titulo  | Ciudad / Dpto | Clima | Autor                | Estrategia  | Modificaciones   |
|---|---------------|-------|----------------------|---|--|
| <p><b>Estrategias pasivas de ventilación natural en la envolvente de un modelo de edificación dotacional, para el mejoramiento del confort térmico en la ciudad de Bogotá</b></p> | Bogotá        | Frío  | (Bernal Rojas, 2019) |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas en fachada con acristalamiento y protección solar en vidrio laminado</li> <li>• Ventilación cruzada</li> <li>• Cubierta con recubrimiento verde ligero sostenida por placa de concreto con cámara de aire y bajo esta, cielo raso perforado</li> <li>• Cielo raso lineal de fieltro</li> <li>• Muro verde con especies endémicas y cámara de aire</li> <li>• Envolvente con 2 muros verticales perforados que circundan la edificación</li> <li>• Ventanas de aluminio con acristalamiento y para protección solar celosías en áreas de mayor exposición ligeras en aluminio</li> <li>• Franja con persiana acoplada al acristalamiento</li> <li>• Iluminación natural</li> <li>• Muros captadores verticales compuestos por rejillas circulares variables micro perforados de aluminio</li> <li>• Filtros de ventilación “merv 13”</li> <li>• Concreto verde desarrollado con derivados del desecho como cascara de arroz, cenizas y micro silicatos</li> <li>• Orientación</li> </ul> |




| Titulo   | Ciudad / Dpto | Clima            | Autor                      | Estrategia  | Modificaciones  |
|--|---------------|------------------|----------------------------|---|---|
| <p><b>Comportamiento y variación del confort térmico de la vivienda de interés social en clima cálido húmedo, a partir del proceso de transformación y adecuación de la morfología y envolvente de la edificación.</b></p> | Guamal, Meta  | Cálido<br>Húmedo | (Rodríguez Martínez, 2018) |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialidad de la envolvente</li> <li>• Construcción de Alero o cubierta en antejardín</li> <li>• Cerramiento de antejardín en muro verde</li> <li>• Sellamiento de lucarna sobre cubierta</li> <li>• Incremento de altura de cubierta</li> <li>• Construcción de habitación en zona de patio</li> <li>• Cubierta total del área de patio</li> <li>• Instalación de cielo raso en PVC y construcción de placa de entepiso en bloquelon para ampliación en segundo nivel</li> <li>• Ventanas acristaladas</li> <li>• Materialidad de la envolvente</li> <li>• Cubierta en guadua</li> <li>• Efecto chimenea</li> </ul> |

| Título  | Ciudad / Dpto                    | Clima                  | Autor   | Estrategia  | Modificaciones  |
|---|----------------------------------|------------------------|---|---|---|
| <p><b>Estrategias pasivas para el mejoramiento de confort en vivienda unifamiliar en condiciones de clima cálido – seco, interviniendo en la materialidad de la envolvente, caso de estudio La Mesa – Cundinamarca.</b></p> | <p>La Mesa,<br/>Cundinamarca</p> | <p>Cálido<br/>Seco</p> | <p>(García<br/>Urrego,<br/>2018)</p>                    |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corta soles sobre las ventanas y pérgolas</li> <li>• Ventanería con estratificación de calor (free – cooling)</li> <li>• Ventilación cruzada</li> <li>• Materialidad de la envolvente: muros de bloque de cerámica con pañete de concreto en ambas caras, placa de cubierta, muros interiores en bloque de cerámica con capa de mortero de concreto ligero, placa de piso en recebo con capa de aire</li> <li>• Muro y cubierta verde</li> <li>• Lámparas led de alta eficiencia</li> <li>• Paneles solares</li> <li>• Suelo radiante a baja temperatura</li> <li>• Ventilación nocturna</li> <li>• Orientación</li> </ul> |
| <p><b>Vivienda Net – Zero en Mexicali., B.C, un camino hacia las políticas energéticas en desarrollos habitacionales sustentables.</b></p>  | <p>Mexicali,<br/>México</p>      | <p>Desértico</p>       | <p>(R Calderón ,<br/>Arredondo,<br/>&amp; Cardenas)</p> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislamiento térmico con poliestireno de 2"</li> <li>• Poliestireno de 3.5" en techo</li> <li>• Ventana doble vidrio con cámara de aire</li> <li>• Alero para orientaciones sur y este</li> <li>• Sistema de sombreado con árbol caducifolio</li> </ul>   |

| Título  | Ciudad / Dpto               | Clima                | Autor                               | Estrategia  | Modificaciones  |
|---|-----------------------------|----------------------|-------------------------------------|---|---|
| <p><b>Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de mampostería de ladrillo cerámico.</b></p>                                   | <p>Cochabamba, Bolivia</p>  | <p>Seco Templado</p> | <p>(Cabrerizo Barrientos, 2012)</p> |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientación</li> <li>• Materialidad de la envolvente</li> <li>• Construcción de patio</li> <li>• Parasoles con aberturas en fachada oeste</li> <li>• Muros exteriores con aislamiento térmico</li> <li>• Ventilación cruzada</li> <li>• Captación solar en muros y ventanas</li> <li>• Pinturas de colores claros en fachadas</li> </ul> |
| <p><b>Estudio experimental del comportamiento térmico de sistemas pasivos en enfriamiento en clima cálido – húmedo.</b></p>                       | <p>Maracaibo, Venezuela</p> | <p>Cálido Húmedo</p> | <p>(González García, 2011)</p>      |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara de aire</li> <li>• Aislamiento térmico</li> <li>• Enfriamiento radiativo nocturno</li> <li>• Masa térmica</li> <li>• Enfriamiento evaporativo indirecto</li> <li>• Protección solar con techo en poliestireno</li> </ul>  |
| <p><b>Estudio de alternativas para mejorar la eficiencia energética en viviendas unifamiliares económicas departamento central, Paraguay.</b></p> | <p>Itá, Paraguay</p>        | <p>Cálido Húmedo</p> | <p>(Cohenca)</p>                    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colector solar térmico</li> <li>• Lámparas ahorradoras</li> <li>• Iluminación natural: ventanería en pasillo</li> <li>• Ventilación natural</li> </ul>   |

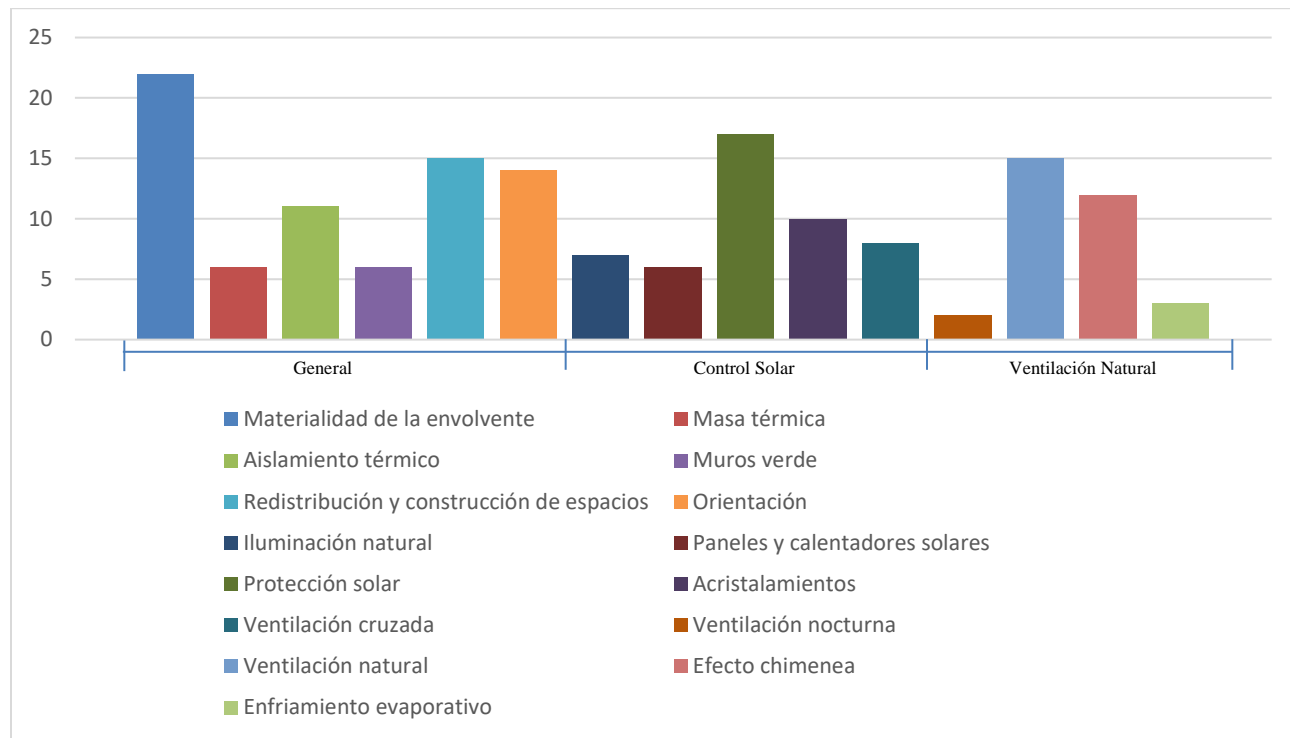
| Titulo  | Ciudad / Dpto              | Clima           | Autor   | Estrategia  | Modificaciones   |
|---|----------------------------|-----------------|---|---|--|
| <p><b>Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares.</b></p>              | <p>Centro Sur de Chile</p> | <p>Oceánico</p> | <p>(García Alvarado, Gonzales W, Bustamante , &amp; Bobadilla )</p> |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialidad de la envolvente</li> <li>• Orientación</li> <li>• Aberturas de ventaneria simple</li> <li>• Iluminación natural</li> <li>• Ventilación cruzada</li> <li>• Cubierta metálica y aislamiento</li> <li>• Techumbre en zincalum de 2 mm</li> </ul>   |
| <p><b>Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la casa Jacobs I.</b></p> | <p>Wisconsin, EE.UU</p>    | <p>Húmedo</p>   | <p>(Beltrán Fernández , García Muñoz , &amp; Dufrasnes)</p>         |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachadas sur-este acristaladas y abiertas al jardín</li> <li>• Fachadas norte-oeste prácticamente ciegas</li> <li>• Orientación</li> <li>• Alas abiertas al jardín a través de fachadas acristaladas</li> <li>• Voladizos</li> <li>• Sistema de calefacción gravity heat</li> <li>• Chimenea</li> <li>• Materialidad de la envolvente</li> <li>• Arboles envolventes en fachada</li> <li>• Ventilación cruzada</li> <li>• Ventilación nocturna</li> <li>• Ventanales altos y corredizos</li> <li>• Iluminación natural</li> <li>• Aprovechamiento de inercia térmica de los materiales</li> <li>• Calefacción por suelo radiante</li> </ul> |

| Título   | Ciudad / Dpto           | Clima           | Autor                                     | Estrategia  | Modificaciones  |
|--|-------------------------|-----------------|---|---|---|
| <b>Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad.</b>  | México                  | Cálido Seco     | (Marincic, Ochoa, & Del Río, 2012)        |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientación</li> <li>• Aislamiento térmico en la envolvente</li> <li>• Aleros en ventanas</li> <li>• Ventilación natural</li> </ul>  |
| <b>Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente.</b>  | Buenos Aires, Argentina | Templado Húmedo | (Czajkowski, Gomez, & Bianciotto, 2008)   |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Masa térmica</li> <li>• Materialidad de la envolvente</li> <li>• Ventilación cruzada</li> <li>• Aislamiento térmico</li> <li>• Protección solar móvil</li> </ul>   |
| <b>Estrategias bioclimáticas orientadas al confort térmico para el diseño de un centro de diagnóstico y tratamiento alergológico en la zona rural de Simbal.</b> | Simbal, Perú            | Templado        | (Herrera Gil, 2017)                       |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación por patio</li> <li>• Rejillas captadoras de viento</li> <li>• Aleros horizontales</li> <li>• Patio interno</li> <li>• Iluminación natural lateral</li> <li>• Persianas de metal</li> <li>• Efecto chimenea</li> <li>• Parasoles</li> </ul> |
| <b>Sistemas pasivos, disminución de la demanda energética.</b>   | Badalona, España        | Cálido Templado | (Fernández del Moral, 2015)               |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voladizos en cubiertas</li> <li>• Reubicación aberturas de ventanas</li> <li>• Lamas</li> <li>• Orientación</li> </ul>   |
| <b>Optimización energética para el aprovechamiento de ventilación natural en edificaciones en climas cálidos del Ecuador.</b>                                    | Guayaquil, Ecuador      | Cálido Húmedo   | (Castillo Estévez & Beltrán Correa, 2015) |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación cruzada</li> <li>• Chimenea solar</li> <li>• Doble fachada</li> <li>• Orientación</li> </ul>   |

| Título  | Ciudad / Dpto          | Clima           | Autor                   | Estrategia  | Modificaciones  |
|---|------------------------|-----------------|-------------------------|---|---|
| <b>Estrategias de diseño solar pasivo para brindar confort térmico en viviendas de la ciudad de Loja, sector Amable María.</b>  | Loja, Ecuador          | Cálido Templado | (Leiva Paladines, 2017) |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientación</li> <li>• Materialidad de la envolvente</li> <li>• Reubicación jardín central</li> <li>• Orientación de ventanería</li> <li>• Aislamientos</li> </ul>   |
| <b>Aplicación de sistemas de ventilación natural para el confort térmico de las habitaciones en un conjunto de viviendas multifamiliares - distrito de Pichanaki.</b> | Pichanaki, Perú        | Templado        | (Paul & Lozano, 2010)   |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientación</li> <li>• Geometría</li> <li>• Efecto chimenea</li> <li>• Teatinas</li> <li>• Efecto viento</li> </ul>  |
| <b>Análisis de propuesta sustentable para proyectos “VIS” bajo la metodología NZEB (Net Zero Energy Buildings) en el área metropolitana de Bucaramanga.</b>           | Bucaramanga, Santander | Tropical        | (Parada, 2021)          |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientación</li> <li>• Ventilación natural</li> <li>• Materialidad de la envolvente</li> <li>• Acristalamientos</li> <li>• Aislamiento en muros de mampostería</li> <li>• Cubierta tradicional compuesta por una placa plana de concreto sin aislamientos</li> <li>• Fachada con acristalamientos y/o aberturas</li> <li>• Voladizos en ventanas de fachada</li> <li>• Lamas horizontales y verticales</li> <li>• Iluminación natural</li> <li>• Rejillas de ventilación metálicas</li> <li>• Ductos de ventilación</li> <li>• Envolvente en drywall (muros)</li> <li>• Paneles fotovoltaicos monocristalinos</li> </ul> |

Fuente: Propia

A partir de lo anterior, se resumen de manera estadística las modificaciones que se realizaron en los distintos proyectos de la siguiente manera:



*Figura 20. Estadística de modificaciones de los proyectos*

Fuente: Propia

Nota: Protección solar refiere a pérgolas, aleros, muros captadores, parasoles y lamas)

## 7.2 DISEÑO BIOCLIMÁTICO

### 7.2.1 DEFINICIÓN DE LAS ESTRATEGIAS

El diseño bioclimático se centra en el aprovechamiento de recursos naturales y condiciones climáticas de la zona generando un impacto ambiental al disminuir el consumo energético.

Bucaramanga presenta un tipo de clima tropical, caracterizado por poseer en su mayoría días soleados y noches generalmente con clima templado y vientos con dirección noroeste.

Este tipo de arquitectura busca principalmente lograr confort térmico dentro de la vivienda, con esto, se definieron estrategias acordes a las necesidades de la vivienda.

*Tabla 3. Diseño bioclimático*

| Nombre               | Descripción   | Estrategia  |
|----------------------|---|---|
| <b>Control Solar</b> | Busca el ahorro de energía, debido a que busca minimizar el aumento de calor dentro de viviendas con gran incidencia de sol diario reduciendo el aumento de calor solar, pero aprovechándose de este para generar altos niveles de luz natural. | Es por medio de la implementación del sombreado y protejan el interior de la vivienda, bien sea generando transmitancia, reflectancia y absorbancia u obstruyendo el ingreso total de la radiación solar. |

| Nombre                     | Descripción  | Estrategia  |
|----------------------------|--|---|
| <b>Ventilación Natural</b> | Permite el flujo en los espacios interiores de la vivienda generando circulación y renovación de aire sin necesidad de ningún tipo de ayuda mecánica y también disipa el calor por medios convectivos y evaporativos | La dirección y velocidad del aire es fundamental en este tipo de casos, teniendo esto a favor, se ubican de manera estratégica aberturas que permitan el flujo al interior de la vivienda e incluso la evaporación de estos mismos. |

Fuente: Propia

### 7.2.2 MATERIALIDAD DEL MODELO

Es importante conocer cada uno de los materiales que la componen para así definir las características en favor y en contra que cada una de ellos juega en el confort térmico de la vivienda. Por esto, se tuvo en cuenta la materialidad de la construcción inicial de la vivienda de 126,45 m<sup>2</sup> observada en la tabla 4.

En este caso se manejaron una serie de siglas para abreviar el nombre de las estrategias en los casos modelados, a continuación, se presentará el significado de cada abreviatura para su mayor entendimiento.

**CB** = Caso base

**VNC** = Ventilación natural cruzada

**EC** = Efecto chimenea

**BA** = Bajo acristalamiento


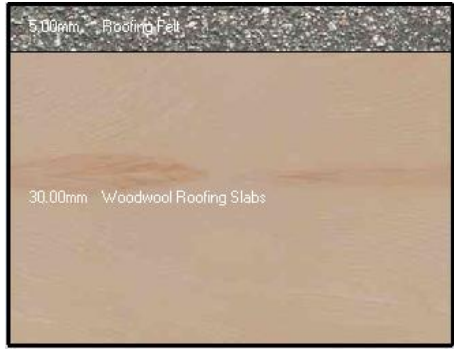
**AH** = Aleros horizontales

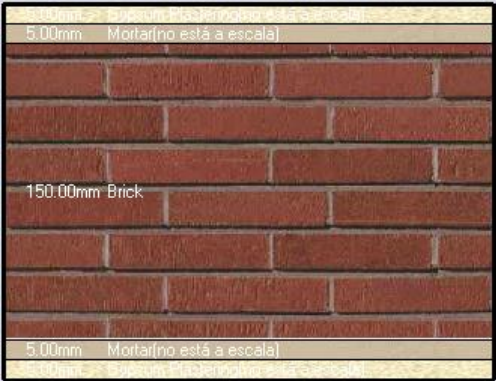
**AHV** = Aleros horizontales y verticales

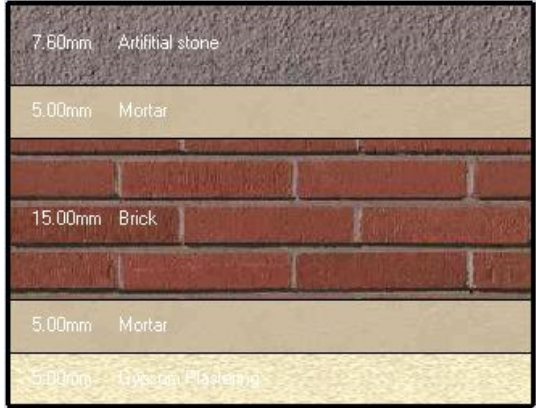
**T** = Todas (Hace referencia a la combinación de todas las estrategias)



**EC&A** = Efecto chimenea y Aleros verticales y horizontales

Tabla 4. Materialidad de la vivienda

| MATERIALIDAD DE LA VIVIENDA |      |                 |             |   |                                   |  |
|-----------------------------|------|-----------------|-------------|---|-----------------------------------|--|
| CERRAMIENTOS                | CAPA | MATERIAL        | ESPESOR (m) | TRANSMITANCIA TERMICA (W/m <sup>2</sup> -K) | CASOS MODELADOS                   | IMAGEN   |
| Cubierta inclinada          | 1    | Teja de barro   | 0.0250      | 2.035                                       | CB, VNC, EC, BA, AH, AHV, T, EC&A |   |
|                             | 2    | Tela asfáltica  | 0.0050      |   |                                   |  |
|                             | 3    | Lozas de madera | 0.030       |   |                                   |  |
| Cubierta plana              | 1    | Tela asfáltica  | 0.0050      | 2.144                                       | CB, VNC, EC, BA, AH, AHV, T, EC&A |  |
|                             | 2    | Lozas de madera | 0.030       |   |                                   |  |

| CERRAMIENTOS | CAPA | MATERIAL   | ESPESOR (m) | TRANSMITANCIA TERMICA (W/m <sup>2</sup> -K) | CASOS MODELADOS                   | IMAGEN   |
|--------------|------|--|-------------|---|-----------------------------------|--|
| Aberturas    | 1    | Vidrio simple  | 0.003       | 1.960                                       | CB, VNC, EC, AH, AHV, EC&A        |  |
|              | 1    | Vertical glazing, 0%-40% of wall, U-0.60 (3.41), SHGC-0.25 | x           | 3.414                                       | BA, T                             |  |
| Particiones  | 1    | Estuco y pintura   | 0.0050      | 1.981                                       | CB, VNC, EC, BA, AH, AHV, T, EC&A |  |
|              | 2    | Mortero  | 0.0050      |   |                                   |  |
|              | 3    | Ladrillo   | 0.15        |   |                                   |  |
|              | 4    | Mortero  | 0.0050      |   |                                   |  |
|              | 5    | Estuco y pintura   | 0.00050     |   |                                   |  |

| CERRAMIENTOS     | CAPA | MATERIAL          | ESPESOR (m) | TRANSMITANCIA TERMICA (W/m <sup>2</sup> -K) | CASOS MODELADOS                   | IMAGEN   |
|------------------|------|-------------------|-------------|---|-----------------------------------|--|
| Muros exteriores | 1    | Piedra artificial | 0.0076      | 4.534                                       | CB, VNC, EC, BA, AH, AHV, T, EC&A |  <p>7.60mm Artificial stone</p> <p>5.00mm Mortar</p> <p>15.00mm Brick</p> <p>5.00mm Mortar</p> <p>5.00mm Gypsum Plastering</p> |
|                  | 2    | Mortero           | 0.0050      |   |                                   |  |
|                  | 3    | Ladrillo          | 0.0150      |   |                                   |  |
|                  | 4    | Mortero           | 0.0050      |   |                                   |  |
|                  | 5    | Estuco y pintura  | 0.0050      |   |                                   |  |

| CERRAMIENTOS           | CAPA | MATERIAL         | ESPESOR (m) | TRANSMITANCIA TERMICA (W/m <sup>2</sup> -K) | CASOS MODELADOS                   | IMAGEN   |
|------------------------|------|------------------|-------------|---|-----------------------------------|--|
| Suelo sobre el terreno | 1    | Loza de concreto | 0.10        | 2.669                                       | CB, VNC, EC, BA, AH, AHV, T, EC&A |   |
|                        | 2    | Mortero          | 0.0050      |   |                                   |  |
|                        | 3    | Baldosa cerámica | 0.070       |   |                                   |  |
| Aleros                 | 1    | Acero            | 1           | x   | AH, AHV, T, EC&A                  |  |

Fuente: Propia

### 7.2.3 LOCALIZACIÓN Y TOPOGRAFÍA DE LA VIVIENDA

El proyecto se encuentra en la ciudad de Bucaramanga, una conurbación colombiana ubicada en el departamento de Santander al nordeste del país sobre la cordillera Oriental. Su población es de aproximadamente 526.940 habitantes lo que la posiciona como la octava del país. Posee un área de 162 km<sup>2</sup>, sus coordenadas son: Latitud: 7.11392, longitud: -73.1198 7°6'50" Norte, 73° 7'11" Oeste y su elevación promedio es de 959 m.s.n.m.

La ciudad de Bucaramanga posee clima tropical, dependiendo de la altitud en que parte de la ciudad se sitúe será más cálido o más templado pues está bajo tres cerros grandes casi a 1000 metros sobre el nivel del mar, la temperatura media es de aproximadamente 23°C y las mínimas y máximas se registran aproximadamente entre 16°C y 30°C respectivamente. Bucaramanga posee pluviosidad alta, 130mm anuales, por lo tanto, durante el año prevalecen los cielos nublados.



*Figura 21. Localización geográfica de Bucaramanga*

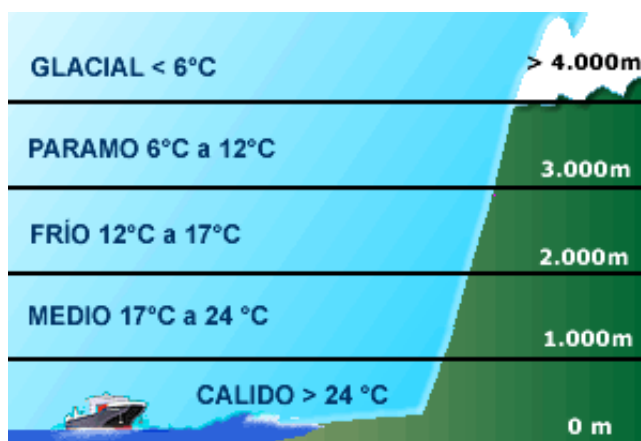
Fuente: propia

## 7.2.4 ARCHIVO CLIMATOLÓGICO

Clima:

Colombia se encuentra ubicado sobre el ecuador, lo que hace que su clima sea tropical gozando de temporadas de lluvia y temporadas secas, pero sin estaciones climáticas definidas debido a la alta radiación solar a la que está expuesta durante todo el año. Además de esto, posee un gran relieve por la presencia de la cordillera de los Andes que cruza por todo el territorio colombiano de sur a norte.

En la escala de pisos térmicos de Colombia, Bucaramanga se encuentra a los 1000 m de altura con un clima entre los 17°- 24° C lo que lo define con un clima medio o clima mesotérmico, como lo indica la figura 22.



*Figura 22. Escala de pisos térmicos*

Fuente: (Tierra colombiana)

## Temperatura:

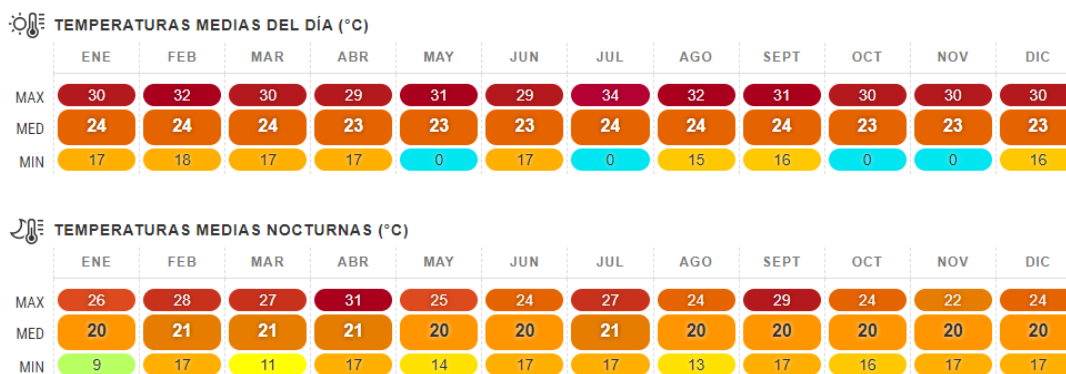


Figura 23. Temperatura media anual en la estación de Palonegro - Bucaramanga

Fuente: (WINDFINDER, 2020).

En Bucaramanga, los inviernos y los veranos son cortos, durante todo el año la temperatura varía de 20°C a 27°C aproximadamente y muy rara vez se sale de estos límites.

Generalmente, durante el día hay temperaturas altas y cálidas y en la noche, las temperaturas son más bajas y cómodas.

## Sol:

En Bucaramanga, la variación del día no varía mucho, aproximadamente los días duran entre 11 horas y 12 horas.

La luz natural es un agente importante al implementar estrategias pasivas en una vivienda, pues entre más horas de luz natural, menos consumo de energía.

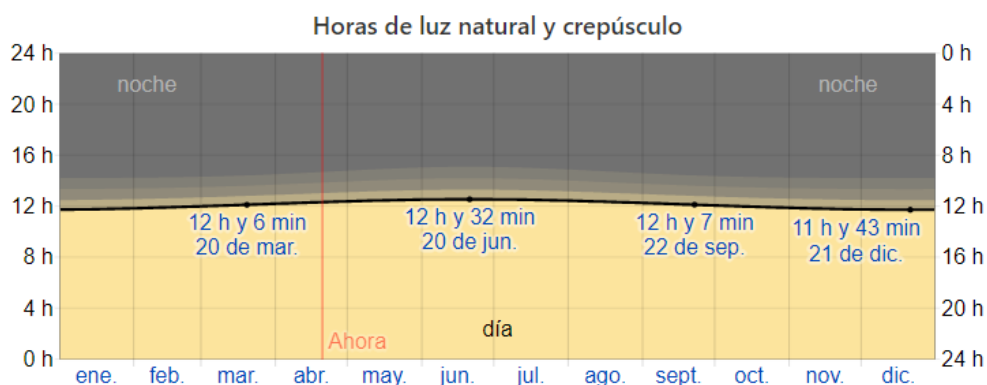


Figura 24. Horas de luz natural y crepúsculo

Fuente: (Weather Spark, 2016)

#### Humedad:

La comodidad de la humedad la dicta el punto de rocío, este es el que dictamina si el sudor de la piel se evapora enfriando el cuerpo. Teniendo en cuenta lo dicho, se siente seco cuando los puntos de rocío son bajo y se siente húmedo cuando los puntos de rocío son altos. (Weather Spark, 2016). En Bucaramanga, la humedad es variable levemente, el día con mas humedad del año cuenta con una humedad del 80% del tiempo como se muestra en la figura 25.

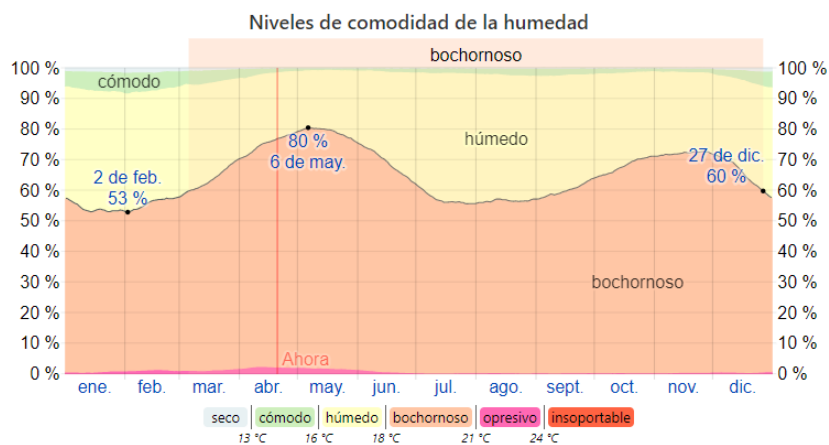


Figura 25. Horas de luz natural y crepúsculo

Fuente: (Weather Spark, 2016)

## Viento:

La velocidad de los vientos en la región de Bucaramanga es variable por la geografía montañosa que posee el área metropolitana, esta velocidad, se puede aprovechar para implementación de ventilación natural.

La velocidad del viento promedio por hora en la ciudad de Bucaramanga posee variaciones estacionales leves a lo largo del año (Weather Spark, 2016).

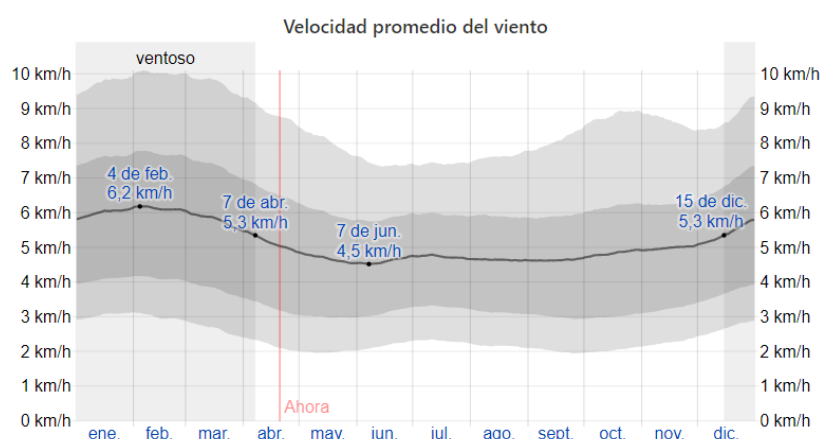


Figura 26. Velocidad promedio del viento

Fuente: (Weather Spark, 2016)

En cuanto a la dirección que prevalece en promedio por hora del viento en el año se dice que viene del este como lo muestra la figura 27.

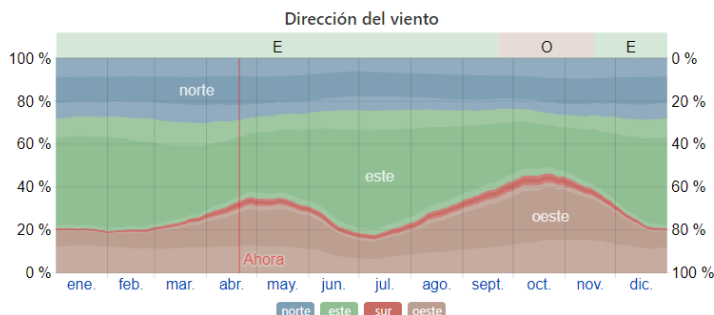


Figura 27. Dirección del viento

Fuente: (Weather Spark, 2016)

Radiación solar:

Para los datos de la energía solar de onda corta que incide a diario se observan las variaciones estacionales de la elevación del sol en el horizonte, las varianzas estacionales y la absorción de las nubes.

La energía solar incidente de onda corta promedio diario tiene varianzas estacionales leves durante el año (Weather Spark, 2016).

El día que más resplandece en el año por ejemplo tiene un promedio de 5.7 kWh y el más oscuro un promedio de 4.3 kWh como se muestra en la figura 28.

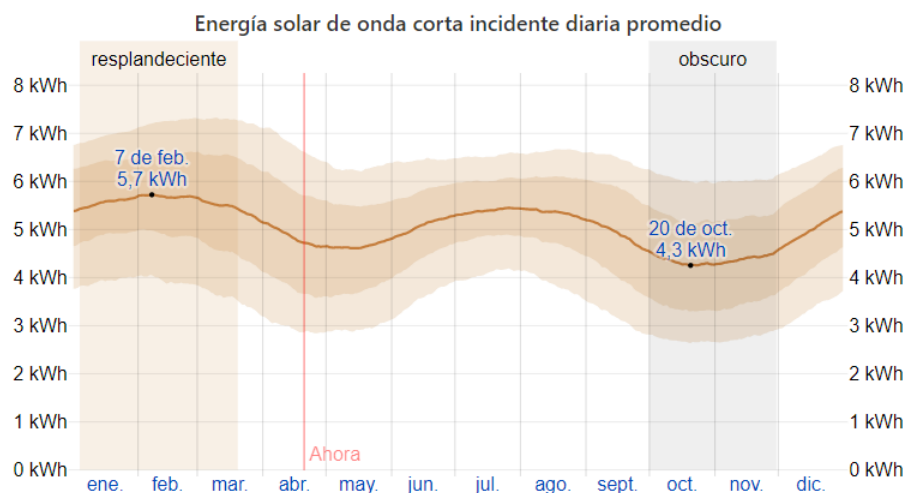


Figura 28. Energía solar de onda diaria promedio

Fuente: (Weather Spark, 2016)

### 7.3 ENTRADA DE DATOS DEL MODELO BASE

Para efectuar la simulación en la herramienta design builder se estableció que esta se llevara a cabo el día más caliente del año siendo este el 12 de enero según el archivo climatológico del software con una periodicidad de 24 horas.

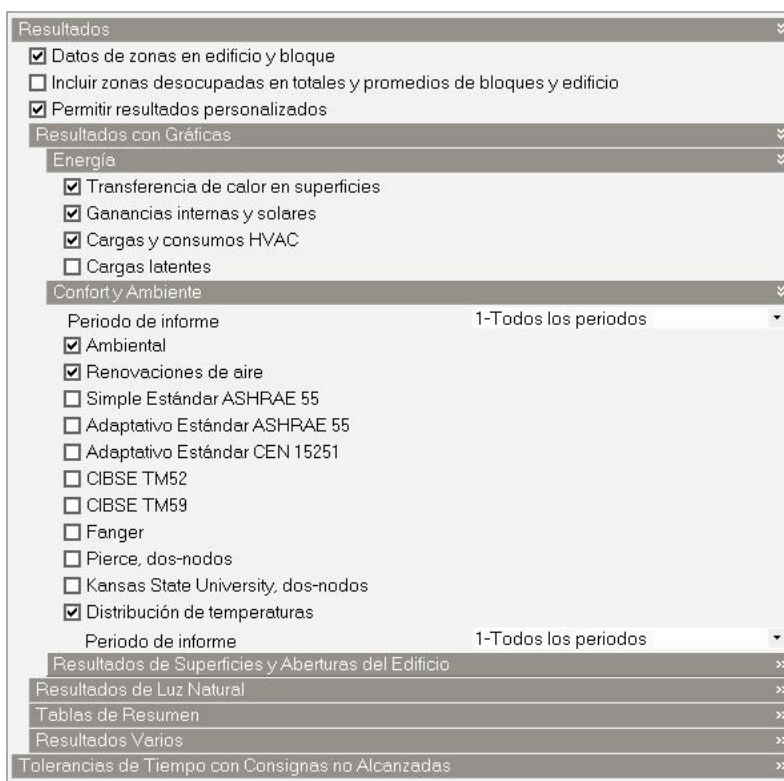
De igual forma, se tuvo presente principalmente la categoría de confort y ambiente para que los resultados arrojados se relacionaran con las variaciones de la temperatura como se puede observar en las figuras 29 y 30.

The image shows a software configuration window for simulation parameters. It is divided into several sections:

- Descripción del Cálculo**: A header section with a double arrow icon on the right.
- Periodo de simulación**: A section containing:
  - Efectuar simulación con periodos de dimensionado
  - Efectuar simulación con datos climáticos
  - Desde**: A sub-section with:
    - Día inicial: 12
    - Mes inicial: Ene
    - Año específico
  - Hasta**: A sub-section with:
    - Día final: 12
    - Mes final: Ene
  - Ejecutar simulación para varios años
- Intervalos de resultados**: A section containing:
  - Mensual y Periodo de simulación
  - Diario
  - Horario
  - Sub-horario

*Figura 29. Configuración de periodo en Design Builder*

Fuente: Propia



*Figura 30. Configuración de resultados Design Builder*

Fuente: Propia

Además de esto se adecuó el caso para una vivienda familiar con 5 ocupantes resaltando que en el momento de la simulación esta no se encontraba en su ocupación total, de manera que los consumos energéticos de cocina, misceláneos y computadores fueran acorde a la ocupación de la vivienda.

| Computadoras                                       |                      |
|--|----------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Activar</b> |                      |
| <b>Densidad de potencia (W/m<sup>2</sup>)</b>      | <b>2.37</b>          |
| Programación                                       | Office_OpenOff_Equip |
| Fracción radiante                                  | 0.200                |
| Equipos de oficina                                 |                      |
| Misceláneos  |                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Activar</b> |                      |
| <b>Densidad de potencia (W/m<sup>2</sup>)</b>      | <b>3.32</b>          |
| Programación                                       | Office_OpenOff_Equip |
| Combustible  | 1-Electricidad       |
| Fracción de pérdida                                | 0.000000             |
| Fracción latente                                   | 0.000000             |
| Fracción radiante                                  | 0.200000             |
| Cocina   |                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Activar</b> |                      |
| <b>Densidad de potencia (W/m<sup>2</sup>)</b>      | <b>20.68</b>         |
| Programación                                       | Office_OpenOff_Equip |
| Combustible  | 1-Electricidad       |
| Fracción de pérdida                                | 0.000000             |
| Fracción latente                                   | 0.000000             |
| Fracción radiante                                  | 0.200000             |

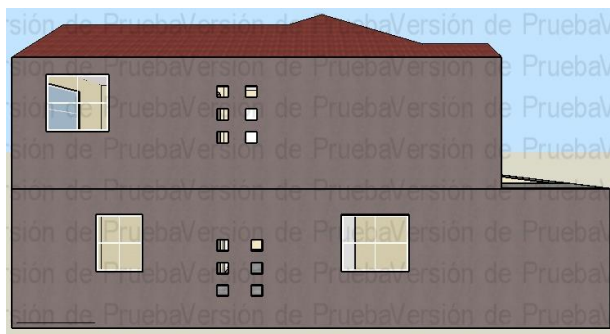
*Figura 31. Configuración de actividad Design Builder*

Fuente: Propia

## 7.4 CASOS MODELADOS

Teniendo en cuenta que el objetivo principal fue lograr confort térmico, se realizaron a partir de cada estrategia las siguientes modificaciones:

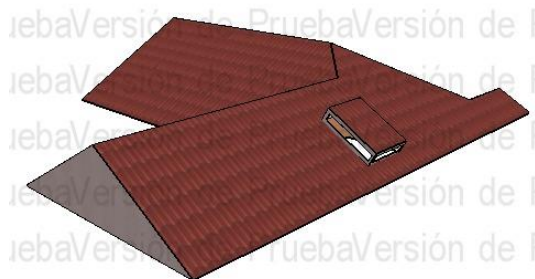
Para ventilación natural se implementó la ventilación natural cruzada y el efecto chimenea, en la ventilación natural cruzada se agregó además de las ventanas ya existentes, una ventana en la parte trasera de la vivienda y 12 aberturas de 0,20 x 0,20 m en la zona de la escalera generando así más fluctuación de aire al interior de la vivienda, como se muestra en la figura 32.



*Figura 32. Perforaciones para ventilación natural cruzada*

Fuente: Propia

Mientras que en el efecto chimenea se abrió una claraboya en la cubierta como se muestra en la figura 33 de manera que el aire caliente que se encontraba en el interior de la vivienda se expulsara hacia arriba generando mejores temperaturas al interior de esta.

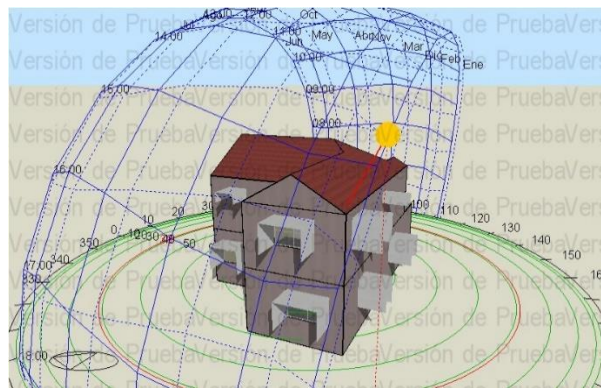


*Figura 33. Inclusión efecto chimenea*

Fuente: Propia

En el caso de control solar se realizaron 3 tipos de modificaciones, bajo acristalamiento (bajo SHGC), aleros horizontales y aleros verticales.

Los aleros tanto horizontales como verticales se ubicaron en todas las ventanas de la vivienda en acero con una dimensión de 1m de proyección, esto, estratégicamente para impedir la entrada total de la radiación solar, sus dimensiones se calcularon teniendo en cuenta la inclinación del sol y la medida de la ventana, este caso se puede observar en la figura 34.



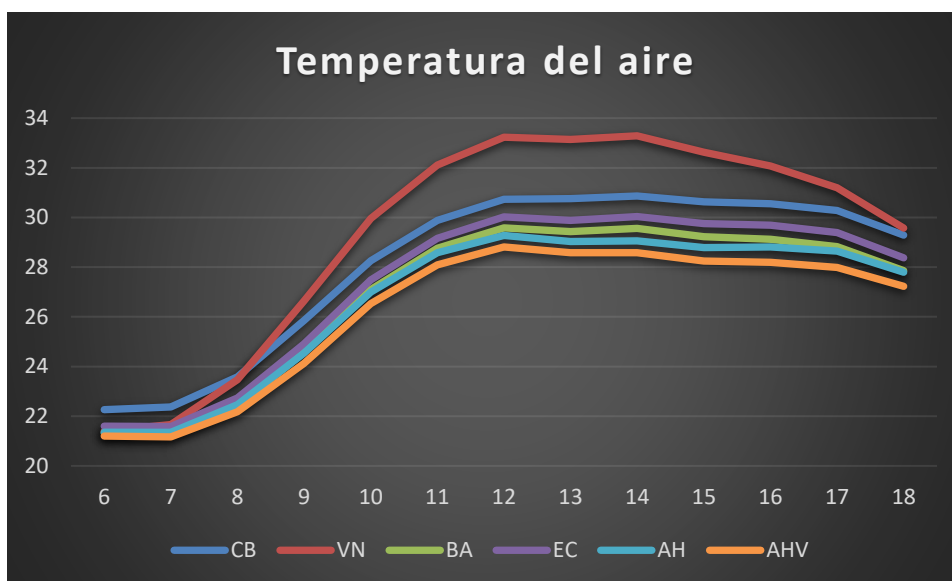
*Figura 34. Inclusión de aleros verticales y horizontales*

*Fuente: Propia*

Por otra parte, se realizó una modificación en la materialidad que componían las ventanas de la vivienda, esto por medio de un bajo SHGC “Solar Heat Gain Coefficient” con un coeficiente de solar de 0,60 frenando la entrada de calor solar y a su vez permitiendo que la luz natural ingrese a la vivienda, esto con el fin de manejar bajas temperaturas dentro de esta.

## 8. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se pueden observar los resultados arrojados por cada simulación realizada para cada modificación implementada en la vivienda, todo esto en comparativa con el caso base que es la vivienda típica sin ninguna estrategia implementada, para los respectivos análisis se basó únicamente en los resultados sobre la temperatura del aire, basado en el objetivo del proyecto el cual es la obtención de confort térmico. En la figura 35 se puede observar la variación de la temperatura en cada uno de los casos, en esta grafica aún no se encuentra ningún modelo de simulación en el que se haya combinado alguna estrategia.



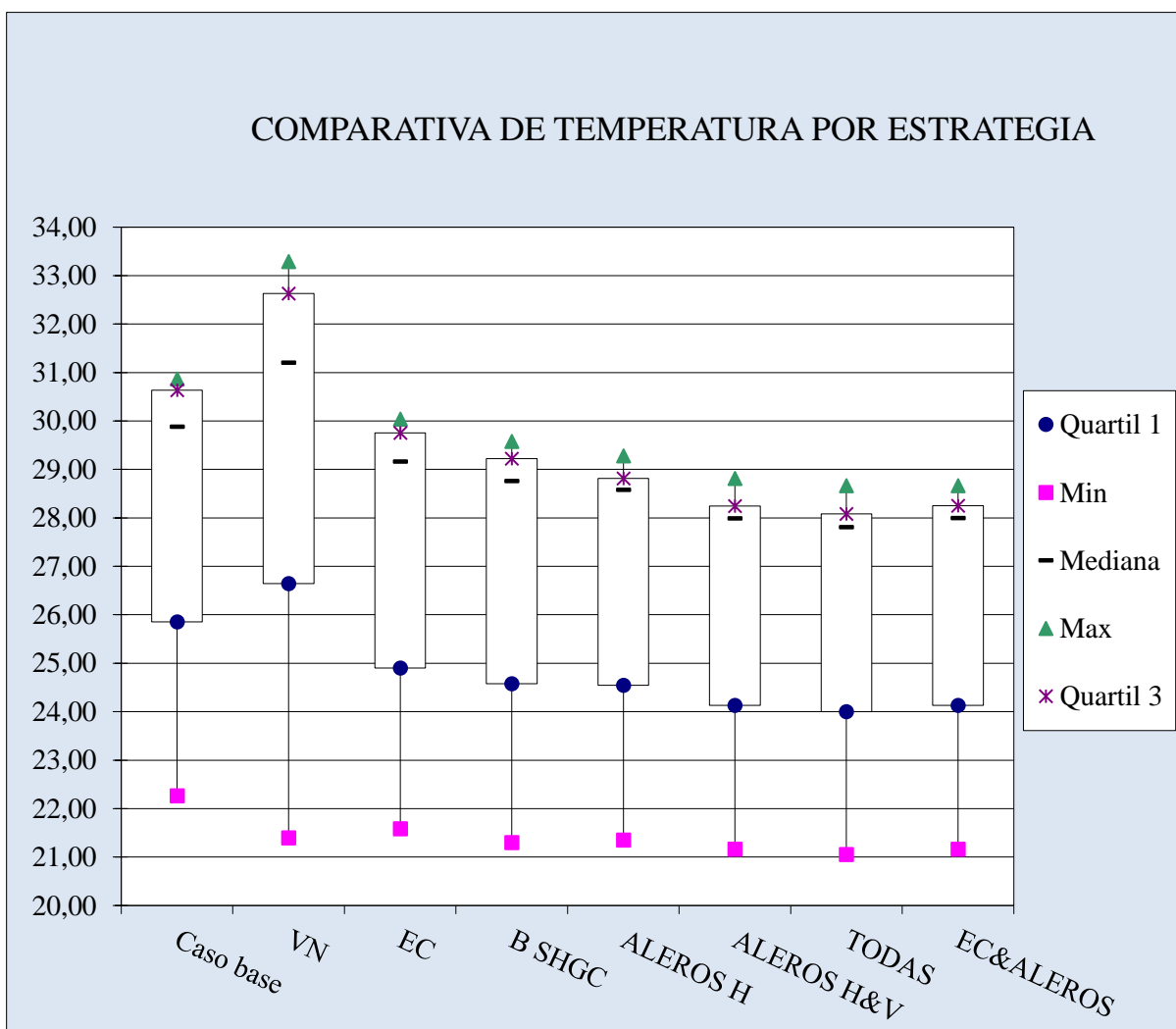
*Figura 35. Datos temperatura por caso modelado*

Fuente: Propia

Como se observa en la figura 35 se pudo obtener una variación considerable en las temperaturas según las modificaciones por estrategia implementadas al caso base, es notorio que la implementación de ventilación natural cruzada no funcionó y aumenta en una buena cantidad la temperatura de la vivienda, por lo cual es totalmente descartada.

En la ventilación natural cruzada aumentó la temperatura en un 7.28% en la hora crítica del día, pero también se puede observar en la figura 35 que en el intervalo de 6 a 8 AM es menor la temperatura a la del caso base, y esto se debe a que en ese lapso de tiempo la temperatura del aire se mantiene aún fría y después de esas horas ya ingresa a la casa más aire caliente por la incorporación de más ventanas en la vivienda, yendo esto en contra del objetivo del proyecto y por lo cual se descarta esta estrategia.

En cuanto a la combinación de estrategias se realizó un par de combinaciones, la primera contempla la unión de todas las estrategias implementadas exceptuando la de ventilación natural cruzada por sus malos resultados como se mencionó anteriormente, y para la segunda combinación se realizó la unión entre la estrategia de efecto chimenea y los aleros verticales y horizontales, arrojando unos resultados positivos para con el objetivo del proyecto como se pueden evidenciar en la figura 36.



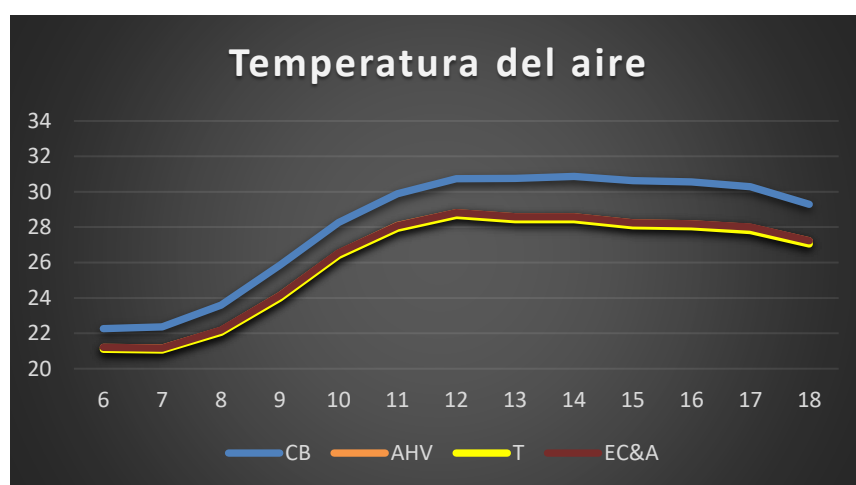
*Figura 36. Comparativa de temperatura por estrategia*

Fuente: Propia

Como se evidencia en la figura 36 la combinación de las estrategias ha sido favorable al objetivo y por el diagrama de caja de bigotes se evidencia como la temperatura disminuye en comparación del caso base.

Se identificó que la simulación que logró mayor reducción en la temperatura fue la combinación de todas las estrategias exceptuando la ventilación natural cruzada, reduciendo la temperatura en

un 7,68% (2.20 °C), seguido de la estrategia de control solar donde se implementaron los aleros horizontales y verticales logrando una reducción de 7.12% (2.05 °C) y en un tercer puesto se encuentra la combinación del efecto chimenea y los aleros verticales y horizontales con una reducción total de 7.11% (2.04 °C), similar a la sola implementación de aleros. En la figura 37 se puede observar las diferencias entre estas opciones respecto al caso base.



*Figura 37. Comparativa de mejores casos*

Fuente: Propia

Para un mejor análisis se llevó a cabo el test de Mann-Whitney, el cual es un test estadístico que permite verificar si existe gran diferencia entre dos series de datos diferentes, en este caso las temperaturas arrojadas por Design Builder, esto debido a un índice de confiabilidad (Valor p) que arroja el test. En la tabla 5 se puede observar según el valor p si lo que se está comparando es estadísticamente mayor en caso de que  $p < 0.05$  o si es estadísticamente igual en caso de que  $p > 0.05$ .

*Tabla 5. Test de Mann - Whitney*

| <b>CB &gt; Modelo</b> |          |               |
|-----------------------|----------|---------------|
|                       | <b>p</b> | <b>Modelo</b> |
| <b>CB</b>             | 0.045    | BA            |
|                       | 0.083    | EC            |
|                       | 0.032    | AH            |
|                       | 0.016    | AHV           |
|                       | 0.016    | T             |
|                       | 0.016    | EC&A          |

Fuente: Propia

En la tabla 5 se puede corroborar con un 95% de confiabilidad que las simulaciones realizadas para la estrategia de AHV, y las dos combinaciones descritas anteriormente funcionan para con el objetivo del proyecto obteniendo un valor p menor a 0.05 y confirmando lo que se observó en la figura 37, además de esto el test estadístico mostró que las simulaciones de AH y BA también presentan un valor p menor a 0.05 y cumplen con el objetivo.

Después de realizar el test estadístico y confirmar lo observado en la figura 35 y 36, se evidenció cuáles simulaciones cumplían con el objetivo inicial, generar confort térmico, sin embargo se tiene claro que unas más que otras incurrirían en un mayor gasto económico teniendo en cuenta que se necesitaría implementar algunas mejoras que son más costosas que las demás, como lo es el caso del bajo acristalamiento con un bajo SGHC, la cual es una estrategia de control solar que arrojó

buenos resultados y que en la simulación donde se combinó con los demás casos permitió reducir más la temperatura en el interior de la vivienda pero tiene en su contra el alto costo que presenta incluir un vidrio con este sistema.

Por esto y de acuerdo a los resultados arrojados también se evidencio que hay casos que muestran resultados muy similares y que son de alguna manera más económicos y menos tediosos a la hora de su implementación, en esta oportunidad lo son los modelos de aleros horizontales y verticales frente al modelo donde se combinan todos los casos, y es que la diferencia entre estos dos casos es de  $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por esto se sugirió que el caso apropiado es el de aleros horizontales y verticales pues reduce las temperaturas en el interior de la vivienda y ahorra costos al no tener que implementar los demás casos como lo son el bajo acristalamiento y el efecto chimenea.

## 9. CONCLUSIONES

La implementación netamente de tecnologías pasivas sin el correcto conocimiento y aprovechamiento de la climatología de la zona no aseguraron la obtención de confort térmico. Las tecnologías pasivas van de la mano con las variables climáticas de la zona de implementación, es por esto que no todas fueron funcionales en todos los casos y requirieron de un estudio amplio del clima y de las necesidades que la vivienda presentó. Cada uno de estos jugó un rol importante y se complementaron entre sí obteniendo en términos de eficacia energética la disminución de consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>.

En los proyectos estudiados se evidenció que alrededor del mundo existen distintos tipos de casos, unos favorables, otros no tan favorables, unos más costosos que otros y algunos más dispendiosos que otros, pero todos con un impacto en el confort térmico.

Se evidenció además la importancia de la orientación de las viviendas con respecto a la dirección del viento, notando casos en los que el flujo de aire chocaba con paredes laterales obstruyendo su entrada al interior de la edificación, todo esto debido a una orientación incorrecta a la hora de construcción, es también esencial el aprovechamiento de los vientos predominantes por medio de ventanas o aberturas ubicadas de manera estratégica que permitan obtener enfriamiento dentro de la estructura de manera natural.

Contrario a esto, hubo casos en los que el flujo era tan bajo que el aire al no correr dentro de la edificación generaba una sensación de bochorno en la misma, por lo que se recurrió a implementar muros verdes que generaran por si mismos oxigenación.

Al igual que la ventilación, la orientación con respecto al sol juega un papel importante y depende directamente de la necesidad que presente sea de entrada de radiación solar o de iluminación natural en la edificación.

La materialidad de la envolvente también tuvo un rol importante en la obtención del confort debido a las propiedades termofísicas de los materiales, es por esto que para algunos casos jugó a favor y para otros en contra.

Finalmente, hubo casos, sobretodo en viviendas de interés social en los que simplemente no se alcanzaban condiciones de confort lo que las hacía inhabitables en horas específicas como el medio día.

Bucaramanga es una ciudad que posee bajo flujo de aire y alta radiación solar lo que genera temperaturas elevadas en la mayor parte del año, es por esto que la estrategia que generó mejores resultados fue la implementación de aleros horizontales y verticales en las ventanas, siendo esta más económica respecto a la implementación de todas las estrategias unificadas que también dio muy buenos resultados, pero a un costo elevado. La estrategia que no funcionó fue la ventilación natural cruzada debido a que una vez implementada en la vivienda, a cambio de disminuir la temperatura del aire al interior lo que hizo fue aumentarla respecto al caso base en sus horas críticas.

Por esto, para el caso de la ciudad de Bucaramanga, se concluyó que la estrategia que mejores resultados obtuvo fue control solar por encima de ventilación natural debido a que la temperatura del aire en esta ciudad es elevada y posee baja velocidad.

El proyecto se recomienda, es un proyecto viable tanto económicamente como en términos de eficacia, obteniendo grandes beneficios en cuanto a ahorro y confort térmico, supliendo en su gran mayoría las necesidades que poseía el caso base y además de esto, brindado al usuario una vivienda

estéticamente aceptable, con espacios confortables y temperaturas agradables para el usuario en la mayor parte del día.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A&SB. (s.f.). *Arquitectura y sostenibilidad* . Obtenido de <http://arquitecturaysostenibilidad.com/profesionales/herramientas-informaticas/>
- Abril, E. A. (2019). *Edificación sostenible, una alternativa para la construcción de viviendas*. Bogota.
- Beltrán Fernández , J., García Muñoz , E., & Dufrasnes, E. (s.f.). *Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la casa Jacobs I*. Winsconsin.
- Bernal Rojas, D. (2019). *Estrategias pasivas de ventilación natural en la envolvente de un modelo de edificación dotacional, para el mejoramiento del confort térmico en la ciudad de Bogotá*. Bogotá.
- Cabrerizo Barrientos, B. (2012). *Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de mampostería de ladrillo cerámico*.
- Castillo Estévez, J. P., & Beltrán Correa, R. D. (2015). *Optimización energética para el aprovechamiento de ventilación natural en edificaciones en climas cálidos del Ecuador*. Guayaquil.
- Chile, I. (2012). *Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos*. Concepción : Dirección de Arquitectura Ministerio de Obras Publicas.
- Cohenca, D. (s.f.). *Estudio de alternativas para mejorar la eficiencia energética en viviendas unifamiliares económicas departamento central, Paraguay*.
- Czajkowski, J. D., Gomez, A. F., & Bianciotto, M. G. (2008). *Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente*. Buenos Aires.
- Ezquerria, V. (2019). *Vanesa Ezquerria*. Obtenido de <https://www.vanesaezquerria.com/casas-pasivas/>
- Farto, D. E. (2018). *Sistemas de protección solar dinámicos*. Barcelona.
- Fernández del Moral, Á. (2015). *Sistemas pasivos, disminución de la demanda energética*.
- Garavito, C. (2021). 5 proyectos arquitectonicos sostenibles en Colombia-. *AXXIS*.
- García Alvarado, R., Gonzales W, A., Bustamante , A., & Bobadilla , C. (s.f.). *Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares*.

- García Urrego, G. C. (2018). *Estrategias pasivas para el mejoramiento de confort en vivienda unifamiliar en condiciones de clima cálido - seco, interviniendo en la materialidad de la envolvente, caso de estudio La Mesa-Cundinamarca*. Bogotá.
- García, A. O. (10 de Mayo de 2019). *Seiscubos*. Obtenido de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/estrategias-de-diseno-pasivo>
- García, A. S. (16 de Diciembre de 2019). *Reto kommerling*. Obtenido de <https://retokommerling.com/diseno-pasivo/>
- Giraldo, W., & Herrera, C. A. (2015). *Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial*. Cali.
- González García, S. I. (2011). *Estudio experimental del comportamiento térmico de sistemas pasivos en enfriamiento en clima cálido - húmedo*. Maracaibo.
- Hernández Sánchez, J. J. (2018). *Estrategias de diseño bioclimático enfocado en el confort térmico*.
- Herrera Gil, D. A. (2017). *Estrategias bioclimáticas orientadas al confort térmico para el diseño de un centro de diagnóstico y tratamiento alergológico en la zona rural de Simbal*.
- Jara, P. (2015). Confort termico, su importancia para el diseño arquitectonico y la calidad ambiental del espacio interior. *Utopia teoria praxis*, 16.
- Ledesma, V. (2021). Sistemas activos y pasivos, la combinación mas eficiente en la proyección de espacios. *Mundo HVAC&R*.
- Leiva Paladines, X. C. (2017). *Estrategias de diseño solar pasivo para brindar confort térmico en viviendas de la ciudad de Loja, sector Amable María*.
- Marincic, I., Ochoa, J. M., & Del Río, J. A. (2012). *Confort térmico adaptivo dependiente de la temperatura y la humedad*. Ciudad de México.
- Martínez, P. A. (2018). *Comportamiento y variación del confort térmico de la vivienda de interés social en clima cálido húmedo, a partir del proceso de transformación y adecuación de la morfología y envolvente de la edificación. (Estudio de caso: proyecto de vivienda de interés . Bogotá*.
- Menjívar, M. R. (2013). *Arquitectura bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones*. El Salvador: Universidad Don Bosco.
- Parada, C. A. (2021). *ANÁLISIS DE PROPUESTA SUSTENTABLE PARA PROYECTOS “VIS” BAJO LA METODOLOGÍA NZEB*. Bucaramanga .

Paul, C., & Lozano, R. (2010). *Aplicación de sistemas de ventilación natural para el confort térmico de las habitaciones en un conjunto de viviendas multifamiliares - distrito de Pichanaki.*

Pura, A. (s.f.). *Arquitectura Pura*. Obtenido de <https://www.arquitecturapura.com/estrategias-de-diseno-pasivo/>

R Calderón , A., Arredondo, E., & Cardenas, F. (s.f.). *Vivienda Net - Zero en Mexicali, B.C, un camino hacia las políticas energéticas en desarrollos habitacionales sustentables.*

Rodríguez Martínez, P. A. (2018). *Comportamiento y variación del confort térmico de la vivienda de interés social en clima cálido húmedo, a partir del proceso de transformación y adecuación de la morfología y envolvente de la edificación.*

Sanabria Contreras , C. C. (2018). *Uso de estrategias pasivas para mejorar el confort térmico y reducir el consumo energético en vivienda campestre localizada en Acacias, Meta.*

Studio, T. G. (10 de Enero de 2017). *The Green Studio*. Obtenido de <http://www.thegreenstudio.es/que-es-diseno-pasivo/arquitectura-sostenible/>

Sustentable, D. (17 de Octubre de 2014). *Diario sustentable*. Obtenido de <https://www.diariosustentable.com/2014/10/mas-del-70-del-consumo-electrico-pertenece-la-construccion-de-edificios/>

Veronica Ledesma, A. B. (s.f.).

Villabona, J. (2020). *CAMACOL*. Obtenido de IFC:  
<https://camacol.co/sites/default/files/documentos/Gu%C3%ADa%20Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Construcci%C3%B3n%20Sostenible.pdf>