

**COCONFORT: OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS) EN BOGOTÁ POR MEDIO DE PANELES A BASE DE FIBRA DE COCO**

**Caso de Estudio: Conjunto Residencial Yerbamora Reservado**

Luisa Fernanda Coronel Otavo



Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D, C

2022

**Optimización de las condiciones de confort térmico en la Vivienda de Interés Social (vis) en Bogotá por medio de paneles a base de fibra de coco**

**Caso de Estudio: Conjunto Residencial  
Yerbamora Reservado**

**Luisa Fernanda Coronel Otavo**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de arquitecto**

**Arq Mg. Manuel Martínez, Director**



**UNIVERSIDAD  
La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**Arquitectura, Facultad de Arquitectura**

**Universidad La Gran Colombia**

**Bogotá D, C**

**2022**

### **Dedicatoria**

A mis padres, por su apoyo incondicional, paciencia, dedicación y amor durante este camino de formación profesional, por haberme llevado a convertirme en la persona que soy actualmente y ser mi pilar fundamental, la base de todos mis logros, mi modelo a seguir y mi motivación para continuar creciendo.

### **Agradecimientos**

Agradezco a la universidad por permitirme ser parte de ella y alcanzar las metas y logros que me he propuesto, por facilitarme los espacios y recursos de aprendizaje necesarios para hoy llegar a culminar mi carrera profesional.

A mis docentes, quienes me acompañaron durante el proceso universitario y me han formado académicamente brindando todos sus conocimientos para seguir adelante.

Agradezco también a mi director de proyecto de grado el Arq. Manuel Martínez, por haberme aportado su experiencia y permitirme culminar de manera exitosa la investigación aquí presentada, sin su orientación no habría sido posible.

**Tabla de contenido**

Resumen .....	13
Abstract.....	14
Introducción.....	15
1. Formulación del problema.....	16
1.1 Pregunta Problema .....	16
1.2 Descripción y justificación del problema .....	16
2. Hipótesis .....	22
3. Población objetivo .....	23
4. Objetivos.....	24
5.1 Objetivo General.....	24
5.2 Objetivos Específicos .....	24
5. Marco teórico .....	25
5.1 Referentes.....	25
5.2 Marco conceptual.....	30
5.2.1 Conductividad térmica.....	30
5.2.2 Transmitancia térmica .....	30
5.2.3 El confort térmico .....	31
5.2.4 Materiales aglutinantes .....	34
5.3 Marco histórico.....	35

5.4 Marco normativo .....	37
5.4.1 NTC 5316.....	37
5.4.2 ANSI/ASHRAE 55 – 2017 .....	37
5.4.3 Passive house.....	38
5.4.4 NORMA ISO 7730.....	40
5.4.5 NORMA ISO 10878.....	40
5.5 Caso de estudio.....	42
6. Metodología.....	47
6.1 Diagnóstico .....	48
6.1.1 Caracterización de condiciones climáticas: .....	48
6.1.2 Encuestas a los residentes:.....	48
6.1.3 Toma de valores con higrómetro: .....	49
6.1.4 Matriz de asoleación:.....	49
6.1.5 Simulación térmica: .....	49
6.2 Experimentación .....	50
6.3 Resultados.....	51
6.4 Sistema de anclaje .....	51
7. Desarrollo de propuesta .....	52
7.1 Etapa 1: Diagnóstico .....	52

7.1.1 Caracterización de las condiciones climáticas de Bogotá y factores que influyen en el confort térmico .....	52
7.1.2 Encuestas a residentes .....	57
7.1.3 Toma de temperatura y humedad con higrómetro .....	60
7.1.4 Matriz de asoleación.....	63
7.1.5 Simulación de valor U del muro en mampostería .....	64
7.1.6 Simulación térmica Design Builder .....	65
7.2 Etapa 2: Experimentación.....	66
7.2.1 Selección de aglutinante y estabilizantes .....	66
7.2.2 Obtención de la fibra de coco.....	67
7.2.3 Desarrollo de prototipos de mezcla .....	68
7.2.4 Elaboración de prototipo final.....	72
7.2.5 Simulación de valor U con Ubakus .....	75
7.2.6 Prueba con cámara termográfica .....	79
7.2.7 Simulación térmica Design Builder .....	88
7.3 Etapa 3: Resultados .....	89
7.4 Etapa 4: Sistema de montaje de paneles .....	91
7.4.1 Comparación con sistema de Drywall y fibra de vidrio .....	92
8. Conclusiones y Recomendaciones.....	94
Lista de Referencias.....	96

Anexos .....99



**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> Niveles de equilibrio térmico .....	40
Tabla 2 Ficha técnica.....	89
Tabla 3 Costo de elaboración .....	90
Tabla 4 Drywall + Fibra de vidrio vs Paneles de fibra de coco por m <sup>2</sup> .....	92

**Lista de figuras**

<b>Figura 1</b> Árbol de problemas .....	19
<b>Figura 2</b> Matriz de asoleación 3x3 .....	20
<b>Figura 3</b> El confort térmico .....	31
<b>Figura 4</b> Passive House .....	39
<b>Figura 5</b> Localización de caso de estudio .....	42
<b>Figura 6</b> Condiciones climáticas de Bogotá .....	43
<b>Figura 7</b> Diagrama de Givoni .....	44
<b>Figura 8</b> Cuadro psicométrico ISO 7730 .....	45
<b>Figura 9</b> Cuadro psicométrico ASHRAE 55.....	46
<b>Figura 10</b> Esquema de metodología.....	47
<b>Figura 11</b> Condiciones que afectan el confort.....	56
<b>Figura 12</b> ¿En cuál torre vive? .....	57
<b>Figura 13</b> ¿En cuál piso vive? .....	58
<b>Figura 14</b> ¿Cuántas personas viven en el apartamento? .....	58
<b>Figura 15</b> ¿Ha sentido incomodidad con la sensación térmica al interior de su vivienda? .....	59
<b>Figura 16</b> Temperatura apartamentos piso 1, 3 y 6 mes de marzo .....	60
<b>Figura 17</b> Temperatura apartamentos piso 1,3 y 6 mes de junio .....	61
<b>Figura 18</b> Temperatura apartamentos piso 1,3 y 6 mes de noviembre.....	61
<b>Figura 19</b> Temperatura apartamento piso 1 .....	62

<b>Figura 21</b> Valor U muro de mampostería .....	64
<b>Figura 22</b> Prototipo de mezcla 1.....	68
<b>Figura 23</b> Prototipo de mezcla 2.....	69
<b>Figura 24</b> Prototipo de mezcla 3.....	70
<b>Figura 25</b> Desarrollo de panel 1.....	72
<b>Figura 26</b> Desarrollo de panel 2.....	73
<b>Figura 27</b> Desarrollo de panel 3.....	73
<b>Figura 28</b> Desarrollo de panel 4.....	74
<b>Figura 29</b> Panel con malla e imprimante.....	74
<b>Figura 30</b> Panel final con acabados .....	75
<b>Figura 31</b> Simulación muro de mampostería .....	76
<b>Figura 32</b> Valor U panel de fibra de coco .....	77
<b>Figura 33</b> Simulación Valor U muro con panel .....	78
<b>Figura 34</b> Panel expuesto a bombillo LED .....	79
<b>Figura 35</b> Temperatura de superficie expuesta al calor .....	80
<b>Figura 36</b> Temperatura de superficie opuesta .....	80
<b>Figura 37</b> Muro de mampostería expuesto a bombillo LED.....	81
<b>Figura 38</b> Superficie opuesta de muro de mampostería .....	82
<b>Figura 39</b> Muro de mampostería.....	82
<b>Figura 40</b> Muro de mampostería con fuente de calor .....	83

<b>Figura 41</b> Muro en concreto expuesto a bombillo LED.....	84
<b>Figura 42</b> Superficie opuesta de muro de concreto .....	84
<b>Figura 43</b> Muro de concreto.....	85
<b>Figura 44</b> Muro de concreto expuesto al calor .....	85
<b>Figura 45</b> Aislante térmico con canastas de pet sometido a bombillo LED .....	86
<b>Figura 46</b> Superficie opuesta de aislante térmico con canastas de pet.....	86
<b>Figura 47</b> Aislante térmico con canastas de pet .....	87

## Resumen

La Vivienda de Interés Social (VIS) en Colombia se viene desarrollando desde hace más de 70 años con el objetivo de ofrecer a los hogares con menores ingresos económicos la posibilidad de acceder a una vivienda propia, que cuente con todas las condiciones de habitabilidad necesarias. Sin embargo, en los últimos años se han venido presentando situaciones que amenazan las condiciones de confort dentro de las residencias, entre ellas la baja temperatura de los espacios interiores por el uso de materiales que carecen de propiedades aislantes para la ciudad de Bogotá por sus condiciones climáticas, manteniendo la temperatura de las viviendas por debajo de los estándares de confort establecidos.

Teniendo en cuenta la problemática de habitabilidad que se genera en las viviendas por sus condiciones térmicas se pretende dar una solución que sea económica y efectiva, por medio de la utilización de fibra de coco para el desarrollo de un elemento aislante que permita un mejoramiento significativo en la temperatura de los espacios interiores de las viviendas.

Para el desarrollo de esta investigación se toma como caso de estudio el conjunto residencial Yerbamora Reservado, ubicado en la localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá y construido con los materiales recomendados para la Vivienda de Interés Social (VIS) como lo son los muros de mampostería tradicional (ladrillos de arcilla recocida), utilizados para las fachadas de estos edificios.

Se desarrolla un sistema de paneles compuestos principalmente por fibra de coco que por medio de sus propiedades permiten llevar las condiciones de confort térmico de las viviendas a cumplir con los estándares establecidos según normas nacionales e internacionales, además de ser económico, rápido y ecológico.

Palabras claves

*Palabras clave: aislamiento térmico, fibra de coco, confort térmico, panel aislante, VIS*

### **Abstract**

Social Interest Housing (VIS) in Colombia has been developed for more than 70 years. the goal is to offer an own home to the lowest economic incomes households satisfying all the necessary habitability conditions. However, in recent years there have been situations that threaten the comfort conditions, including the low temperature of the interior spaces due to the use of materials that don't have insulating properties for Bogotá's weather. keeping the houses temperature out of the established comfort standards.

Considering the problem of habitability that is generated in the houses due to their thermal conditions, the porpoise seek to give an economical and effective solution, using coconut fiber for the development of an insulating element getting a significant improvement in the temperature of the interior spaces of the houses.

For the development of this research, Yerbamora Reservado residential complex is taken as a focus case, located in Suba's neighborhood, in Bogotá. It is built with recommended materials for Social Interest Housing (VIS) such as traditional masonry walls (clay bricks), used for the facades of these buildings.

A panels system mainly compounded by coconut fiber was developed, that due to its properties makes the thermal comfort conditions reach the national and international established standards.

Key words

*Keywords: thermal isolation, coconut fiber, thermal comfort, insulating panel, VIS*

## Introducción

Para la realización de este proyecto se presenta la problemática existente en las viviendas tipo VIS en la ciudad de Bogotá relacionadas con las condiciones de habitabilidad, específicamente la carencia de confort térmico, esto debido a que los materiales que son convencionalmente utilizados para su desarrollo (ladrillos de arcilla y bloques de arcilla), poseen propiedades de conductividad térmica que permiten la pérdida de calor en los interiores, para dar solución a esta situación se plantea el diseño de un panel a base de fibra de coco, sometido a pruebas de laboratorio, que por sus propiedades de aislamiento térmico permita mantener una adecuada temperatura interior en los espacios, posteriormente este panel se convierte en un elemento aislante cuya instalación se hará al interior de las viviendas .

Este planteamiento surge a partir de la gran cantidad de quejas que recibe el Sistema de Información Distrital de Inspección, Vigilancia y Control de Vivienda (Sidivic) pues anualmente se reciben más de 600 quejas relacionadas con las condiciones de habitabilidad de las viviendas, además es importante que los proyectos arquitectónicos cumplan con los estándares de confort para así garantizar espacios saludables a los ciudadanos.

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto se define en 4 fases: Diagnóstico, Experimentación, Resultados, Conclusiones y Recomendaciones.

## **1. Formulación del problema**

### **1.1 Pregunta Problema**

¿De qué manera pueden optimizarse las condiciones actuales de confort térmico en la Vivienda de Interés Social (VIS) en el caso de estudio del Conjunto Residencial Yerbamora Reservado en la localidad de Suba, barrio Fontanar en Bogotá?

### **1.2 Descripción y justificación del problema**

La Vivienda de Interés Social (VIS) en Colombia se define como “aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (SMLM)” (Ministerio de Vivienda de Colombia, 1991, p.2), sin embargo aunque así se encuentra estipulado por la ley, las Viviendas de Interés Social no cumplen con las condiciones estandarizadas del confort térmico, esto se debe a que las características de los materiales utilizados no garantizan un aislamiento térmico, derivando así en problemas patológicos principalmente en los muros, razón por la cual los residentes de este tipo de edificaciones presentan inconformidades respecto a las condiciones de habitabilidad de las viviendas.

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2020) la temperatura promedio diaria de Bogotá varía entre los 13°C y 14°C, condición que conlleva a un déficit de confort térmico en espacios interiores si no se realiza un adecuado control en las edificaciones, pues según los parámetros establecidos por la NTC 5316 Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas, en su numeral 5 plantea que “la zona de confort en la que coinciden verano e invierno está entre los 23°C y los 24°C” y que la humedad “debe estar entre el 30% y el 60%”, no obstante las condiciones actuales de la Vivienda de Interés Social en Bogotá no se



encuentran dentro de los rangos establecidos, de acuerdo con Vega, J (2016) la temperatura interior promedio de estos espacios varía entre los 17°C y 18°C.

La VIS en Bogotá cuenta con lineamientos respecto a la calidad en su construcción, procedimientos, normativa y materialidad para su construcción, aspecto que se puntualiza específicamente en la guía 2 de Guías de Asistencia Técnica de Vivienda de Interés Social, en la cual se recomienda el uso de materiales dependiendo del clima, ya sea cálido o frío, en el caso de Bogotá al ser un clima frío se recomiendan los siguientes métodos convencionales: para los muros unidades de mampostería y pañetes; para cubiertas teja de fibrocemento y teja de barro; para pisos alfombra, madera y vinilo; y para ventanas aluminio, vidrio y ángulo. Aunque estos materiales son recomendados para el clima frío por su alta inercia térmica, los espacios interiores de las viviendas no cumplen con las condiciones de confort térmico, pues según Vega, J (2016) el valor de transmitancia térmica de las tipologías de muros utilizados para las fachadas en este tipo de viviendas oscila entre 2,01 y 3,21 W (m<sup>2</sup>.K), evidenciando su ineficiencia como aislantes térmicos.

Teniendo en cuenta que la VIS se desarrolla con el objetivo de garantizar el derecho a la vivienda para los hogares de menores ingresos como lo menciona la ley 388 de 1997 en su artículo 91, y que su valor debe ser inferior o igual a 135 SMLM, se procura que los procesos constructivos y los materiales utilizados para su desarrollo no generen un alto costo para así mantenerse dentro de los márgenes de precio establecidos por el Ministerio de Vivienda (2011), sin dejar de lado los aspectos generales de calidad de una vivienda establecidos en la guía #1 de la Serie de *Guías de Asistencia Técnica de Vivienda de Interés Social*, donde se concreta que:

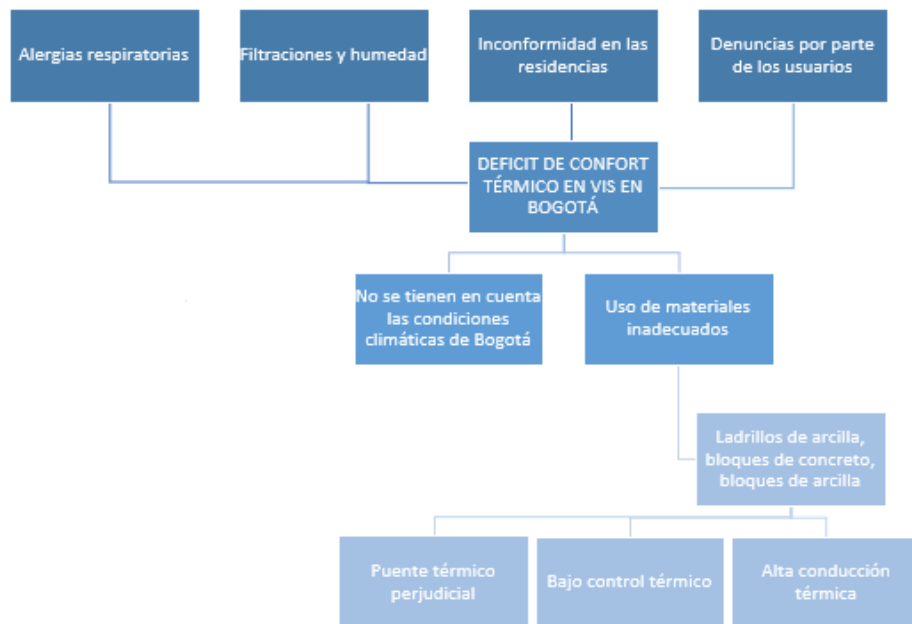
La vivienda debe ofrecer un espacio adecuado a sus ocupantes y protegerlos del frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otros peligros para la salud, riesgos estructurales y

vectores de enfermedad. Debe garantizar también la seguridad física de los ocupantes. (p. ¿??)  
párr.

Aunque se encuentran estipuladas las condiciones de la calidad con las que debe cumplir la VIS, en Bogotá las viviendas no cuentan con los estándares de habitabilidad, pues de acuerdo con Rolando González (2018) “se investigan denuncias por problemas de acabados, humedades, falta de suministro de servicios públicos y cualquier otro hecho que afecte la habitabilidad, uso o funcionamiento de los inmuebles” (como se cita en La fm, 2018, párr. 4). “En el sistema de Información Distrital de Inspección, Vigilancia y control de Vivienda (Sidivic) se presentaron 673 quejas durante el 2016, mientras que en el año 2017 fueron 1002.” (Emisora La fm 2018).

Según Vega (2016) “se observa que existe una influencia negativa en el confort térmico al interior de las viviendas VIS multifamiliar, así como en el riesgo de aparición de condensaciones, proporcionado por los materiales utilizados actualmente en las fachadas de estas” (p. 82), por lo tanto, se hace necesario generar una propuesta de mejoramiento en las condiciones actuales de confort térmico de las viviendas, procurando que esta sea factible y efectiva.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado se puede afirmar que las condiciones de confort térmico en la Vivienda de Interés Social (VIS) en Bogotá se ven seriamente afectadas por la materialidad de sus fachadas, es evidente que los usuarios presentan inconformidades con respecto a la habitabilidad de sus viviendas, principalmente la sensación térmica.

**Figura 1****Árbol de problemas**

Elaboración propia.

Yerbamora Reservado es un conjunto residencial de Vivienda de Interés Social (VIS) ubicado en el noroccidente de la ciudad de Bogotá, más exactamente en la localidad de Suba, barrio Fontanar. Este conjunto consta de 18 torres con 24 apartamentos cada una. Los bloques están contruidos con uno de los materiales establecidos en las Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social, como lo son los ladrillos de arcilla recocidos, empleados para las fachadas de las torres.

Para la determinación de las condiciones térmicas al interior de las viviendas se realizó una encuesta a una muestra de población de 50 residentes del conjunto Yerbamora Reservado, en la que se realizaron preguntas como:

1. ¿En cuál torre vive?
2. ¿En cuál piso vive?

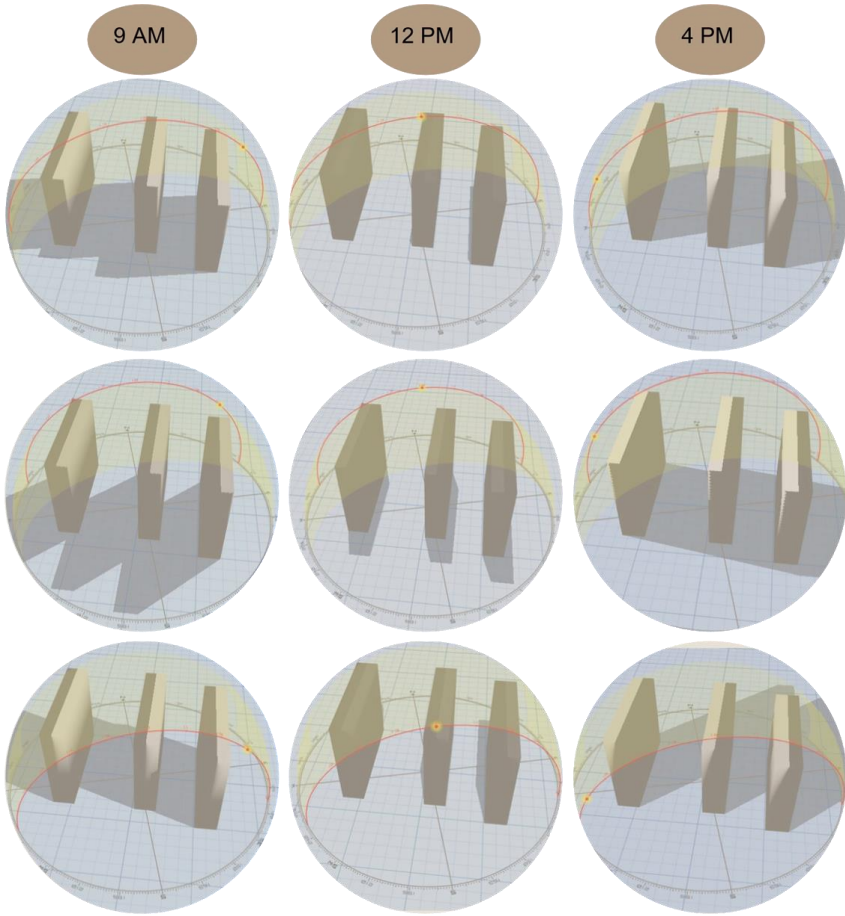
3. ¿Cuántas personas viven en el apartamento?
4. ¿Ha sentido incomodidad con la sensación térmica al interior de su vivienda?

Desde los resultados obtenidos se reconoció que los habitantes del conjunto efectivamente presentan inconformidades con las condiciones de confort térmico al interior de sus viviendas.

A partir de las encuestas realizadas se estableció que al menos un 80% de los encuestados presenta inconvenientes relacionados con las bajas temperaturas al interior de los apartamentos, la mayoría de ellos son los ubicados en el primer y segundo piso. Teniendo en cuenta la información recolectada a través de las encuestas aplicadas se realizó un modelo 3D de las torres de apartamentos mediante un software de recorrido solar para determinar la incidencia solar en los primeros pisos durante el transcurso del día. Con base en la animación realizada se concluye que los apartamentos que reciben una menor cantidad de luz solar son aquellos cuyas fachadas están orientadas en sentido noroccidente, por lo cual se selecciona uno de estos apartamentos para la realización de la medición de temperatura y humedad al interior de este.

### **Figura 2**

*Matriz de asoleación 3x3*



Elaboración propia.

## **2. Hipótesis**

Los paneles de fibra de coco pretenden optimizar las condiciones térmicas actuales de las viviendas en el caso de estudio: Conjunto residencial Yerbamora Reservado, en la localidad de Suba, barrio Fontanar, en la ciudad de Bogotá, por medio de sus propiedades de baja transmitancia térmica evitando que el calor ganado al interior de las viviendas salga perjudicando así las condiciones de confort, estos se instalarán en el interior de las edificaciones como un elemento aislante.

### **3. Población objetivo**

Este proyecto está dirigido a todas aquellas personas y poblaciones que presentan inconformidades e inconvenientes respecto a las condiciones de confort térmico en sus viviendas, lugares de trabajo, estudio y demás espacios en los que habitan, que se relacionen directamente con problemáticas representadas por la materialidad de las fachadas de las edificaciones, ya sea en climas cálidos o fríos como lo es el caso de Bogotá, ciudad en la que se encuentra ubicado el caso de estudio.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema de paneles a base de fibra de cáscara de coco como aislante térmico que permita optimizar las condiciones actuales de confort térmico de la Vivienda de Interés Social (VIS) en Bogotá. Caso de estudio: conjunto residencial Yerbamora, en Suba, barrio Fontanar.

### **4.2 Objetivos Específicos**

1. Diagnosticar las problemáticas de confort térmico existentes en la VIS de Bogotá. Caso de estudio: conjunto residencial Yerbamora en Suba, barrio Fontanar, por medio de la realización de encuestas, medición de temperatura, humedad al interior de las viviendas, y la elaboración de simulaciones térmicas.
2. Diseñar prototipos de posibles mezclas para los paneles mediante la variación de las dosificaciones para la determinación del diseño definitivo buscando la mayor dureza y compactación.
3. Comprobar eficiencia térmica por medio de la realización de pruebas de laboratorio; y factibilidad económica de los paneles de fibra de coco realizando una comparativa con los sistemas de aislamiento del mercado.
4. Establecer una propuesta de anclaje para el sistema de paneles que permita al usuario realizar el montaje por su cuenta y facilitando su implementación para las viviendas.



## 5. Marco teórico

### 5.1 Referentes

Para empezar a hablar sobre la importancia de los sistemas aislantes se toma el trabajo de grado titulado ***Fachadas eficientes: sistemas de aislamiento térmico por el exterior (SATE)*** que

trata sobre la acuciante necesidad de la sociedad actual por el ahorro energético en la construcción tanto de obra nueva como de rehabilitación. En él se realiza un estudio sobre la repercusión del aislante térmico en la mejora térmica de los edificios en cuanto a demanda energética (Garvía, 2016, p. 4).

En esta investigación se habla sobre los diferentes sistemas de aislamiento térmico por el exterior (SATE), sobre su funcionamiento, la normativa existente que los regula en España y sus características, entre otros. También se tratan los beneficios que tienen estos sistemas sobre las condiciones ambientales al interior de las edificaciones, así como también la incidencia de los materiales utilizados para el desarrollo de estos sistemas de aislamiento.

También para resaltar aún más la relevancia y el papel fundamental que tienen los sistemas de aislamiento térmico para las condiciones de confort en un espacio se hace referencia al artículo científico ***Sistema de análisis energético y de temperatura de las ventanas de un aula de clase con y sin aislamiento térmico*** en la que

Se realizaron estudios térmicos para observar el efecto que produce colocar cortinas de poliestireno expandido en un lugar irradiado por el sol y ver cómo esta puede mejorar en cierto modo tanto el confort de las personas como el posible ahorro energético en una unidad de acondicionamiento de aire” (Carvajal et. Al, 2019, p. 27)

En esta investigación se ejecutó una serie de estudios y mediciones de valores en un salón de clases de una universidad de Panamá por medio de la utilización de diferentes equipos, antes y después de implementar un sistema de aislamiento térmico en las ventanas, a partir de los análisis realizados se determinó que existe una notable mejoría en las condiciones ambientales del salón después de la implementación de sistemas de aislamiento térmico.

Respecto a la utilización de fibras vegetales en el desarrollo de sistemas aislantes acústicos y térmicos se tiene la tesis de grado **Comparación de prototipos de fachadas termo-acústicas fabricadas con fibras vegetales para vivienda unifamiliar, con fachada de tipo estándar de concreto vaciado**, en esta investigación se evalúan las características de diferentes prototipos de paneles termo-acústicos para su implementación en viviendas con fachada de concreto vaciado, de acuerdo con Beltrán y Martínez (2017):

En aras de mitigar el impacto negativo que genera la necesidad de adaptar los espacios para generar bienestar en sus residentes, se desarrollaron dos prototipos de paneles que suministran aislamiento termo-acústico, donde sus componentes esenciales son las fibras naturales de coco y de arroz, que suplan el cometido y se comporten de forma similar a los materiales fabricados industrialmente, pero sin los efectos adversos de éstos sobre el medio ambiente. (p. 10)

A partir de los estudios realizados en esta investigación se concluyó que los prototipos desarrollados presentaron un comportamiento satisfactorio como aislantes termoacústicos posibilitando que se solucionen los problemas existentes respecto a las condiciones de confort al interior de las viviendas.

### **Investigación pre-normativa de control térmico en fachadas de edificios multifamiliares tipo VIS en la ciudad de Bogotá D.C.**

En esta investigación se presentan las problemáticas existentes respecto al déficit de confort térmico en la Vivienda de Interés Social (VIS) en Bogotá debido a sus condiciones climáticas y con el fin de evitar estas mismas problemáticas a futuro se plantea la posibilidad de normativizar las condiciones de confort al interior de las viviendas tipo VIS regulando la transferencia térmica de las fachadas de estas edificaciones.

Esta tesis permite identificar las problemáticas existentes respecto al confort térmico en la Vivienda de Interés Social (VIS) en Bogotá debido a los materiales de construcción utilizados en las fachadas, demostrando su alta conductividad térmica por medio de la realización de ensayos de laboratorio con los materiales recomendados por la Guía de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social.

#### **Muro de madera aislado con fibra de coco.**

Por medio esta investigación se valoraron las propiedades acústicas y térmicas de la fibra de coco utilizándose como relleno en la parte interior de muros de madera y evaluando su comportamiento de transferencia térmica y su absorción acústica, determinando que “la fibra de coco posee muy buenas propiedades como aislante térmico y aceptables propiedades como aislante acústico” (Villa, Et. Al, 2019)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por medio de la investigación se valida a la fibra de coco como un aislante térmico eficiente.

En el trabajo de grado **Panel prefabricado a base de fibras naturales** “se diseñó y desarrolló un panel prefabricado para aplicaciones arquitectónicas, compuesto por fibras naturales. El panel fue

elaborado a partir de una mezcla de fibras vegetales de tamo de arroz y cabuya” (Peña, 2016). Este referente tiene similitudes al proyecto desarrollado puesto que se puede apreciar el manejo de materiales similares, así como sus aplicaciones y cualidades aislantes para el mejoramiento de las condiciones de confort en espacios interiores. Para el desarrollo de este panel se realizaron una serie de pruebas experimentales con la fibra de tamo de arroz mezclándolas con diferentes tipos de aglutinantes y materiales estabilizadores, obteniendo como resultado pequeñas muestras que posteriormente serían sometidas a ensayos de laboratorio para la evaluación de sus propiedades, tal como se pretende desarrollar la metodología de elaboración del panel planteado en este proyecto.

La tesis **Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar** plantea el uso de los residuos producidos a partir del proceso de trituración de la caña de azúcar en la fabricación de azúcar, panela y otros productos como materia prima para el desarrollo de paneles con propiedades termoaislantes que permitan un mejoramiento en las condiciones térmicas de edificaciones localizadas en climas cálidos. La relación que se encuentra entre este trabajo de grado y la presente invención es la finalidad que tienen ambos elementos de cumplir con estándares que permiten un mejoramiento en las condiciones térmicas de los espacios, así como el interés en la utilización de materiales que no generen un alto impacto ambiental para el desarrollo de los paneles.

Esta clase de paneles elaborados a partir de las fibras vegetales no solo se llevan a cabo en investigaciones o proyectos de grado, pues llegan a posicionarse en el mercado, como lo hace el **Panel 3D Decko Board**, que es un producto utilizado para el revestimiento de interiores, ya sea para que estos se usen en techos, mobiliario o paredes, son paneles fabricados con fibra vegetal de bambú, de fácil instalación y disponibilidad a nivel nacional, estos se elaboraron con el objetivo de mejorar las condiciones de confort en los espacios interiores habitados por sus clientes, pues cuentan con propiedades termoacústicas que posibilitan esta mejoría, los paneles cuentan además con una serie de

diseños ofreciendo diferentes alternativas para sus compradores, son de color blanco para así facilitar su personalización.

## **5.2 Marco conceptual**

### **5.2.1 Conductividad térmica**

Es una de las propiedades de los materiales por medio de la cual es posible determinar la capacidad que estos tienen para transmitir en mayor o menor medida el calor de una superficie a otra, mientras más alto sea el valor de conductividad térmica del material con mayor facilidad transfiere la energía entre superficies y mientras menor sea su índice menor es su capacidad de hacerlo, la unidad de medida de esta propiedad es el  $W/(m.K)$  (vatios / metros x kelvin) de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades.

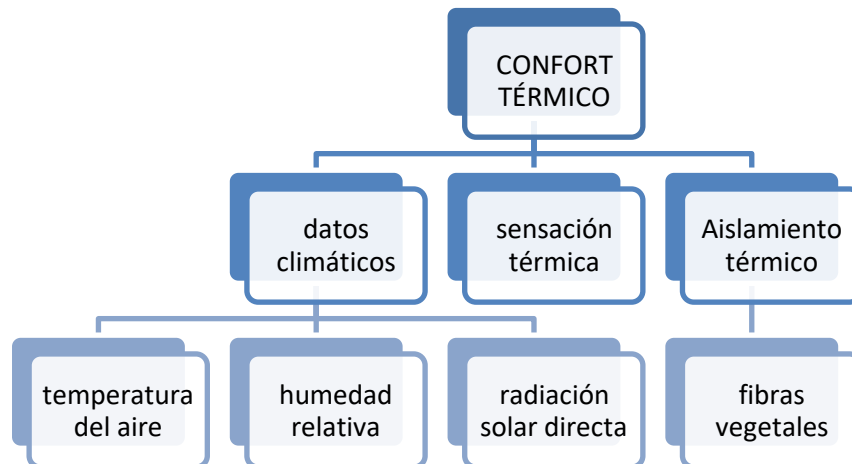
### **5.2.2 Transmitancia térmica**

“Es la cantidad de calor que transmite un cerramiento en estado de régimen, por metro cuadrado, por unidad de tiempo y por gradiente unitario de temperatura entre los ambientes interior y exterior.” Cuitiño Rosales M. G, Rotondaro, R., Esteves, A. (2020), p 140. El índice de transmitancia térmica de un material o elemento es conocido como el Valor U, cuya unidad de medida se expresa en  $W/m^2.K$ , al igual que la propiedad de conductividad térmica a mayor valor U, mayor es la capacidad del material para transferir el calor, de acuerdo al valor U de los materiales puede determinarse si estos son aptos como aislantes térmicos o no, para determinar un material como aislante su valor U debe ser menor o igual a 1,5.

### 5.2.3 El confort térmico

**Figura 3**

*El confort térmico*



Elaboración propia.

El **confort térmico** de un espacio es aquella condición mental en la que el usuario expresa satisfacción con el ambiente térmico del lugar en el que se encuentra, este es valorado por medio de un juicio subjetivo (ASHRAE,2017, p. 10). La importancia que tiene el confort térmico en las condiciones de habitabilidad de una vivienda radica en uno de los principios de la arquitectura que es garantizar condiciones óptimas para los ocupantes de cualquier edificación. Para la evaluación de éste en los diferentes espacios se deben tener en cuenta aspectos como:

Los **datos climáticos**, que se refiere a todos aquellos valores específicos del lugar de estudio respecto a sus condiciones meteorológicas, ya sean temperatura, humedad relativa, radiación solar, viento (ASHRAE, 2017, p. 10).

La **temperatura del aire**, definida como “un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire” según el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (IDEAM & UNAL, 2018, p. 53), se indica en valores numéricos y su unidad de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Medidas

es el Kelvin (K) sin embargo, la medida más utilizada en es la de los grados Celsius (C°), es imprescindible para establecer si un espacio cuenta con las condiciones óptimas de confort térmico, ya que es la principal medida a tener en cuenta en el momento de establecer estándares de confort térmico.

La **humedad relativa**, que se define como: “expresión porcentual de la cantidad de vapor de agua presente en el aire con respecto a la máxima posible para unas condiciones dadas de presión y temperatura” (RAE, 2021, parr.2), la humedad es uno de los factores más importantes para la determinación de la existencia o la carencia de confort térmico en un espacio, puesto que mediante su medición se puede establecer la confortabilidad del aire al interior de una edificación.

La **radiación solar directa**, aquella proveniente directamente del sol, no incluye radiación solar difusa ni radiación solar reflejada (ASHRAE, 2017, p. 10), en aspectos bioclimáticos es un factor fundamental no solo para aportar iluminación natural a los espacios, sino que también se utiliza como la principal fuente natural de calor al interior de las edificaciones, se debe tener en cuenta posición solar para garantizar que los diferentes espacios de cualquier construcción reciban de forma óptima y equitativa una adecuada radiación solar directa.

Otro de los aspectos más importantes para el confort es la **sensación térmica**, que hace referencia a la percepción que tiene un usuario respecto a la condición térmica del lugar que ocupa, usualmente expresada con adjetivos como “frío”, “caliente”, “fresco”, “tibio” (ASHRAE, 2017, p. 10), teniendo en cuenta que ésta es emitida por los ocupantes como un juicio subjetivo, no existe una unidad de medición para la sensación térmica, sin embargo, de acuerdo con los estándares de confort térmico al menos un 80% de los usuarios debe expresar satisfacción con la condición térmica del espacio.

Contemplando que los espacios en los que se van a implementar los paneles son viviendas tipo **Vivienda de Interés Social (VIS)**, es importante definir las y recordar que este tipo de edificaciones se



empezó a desarrollar en Colombia aproximadamente hacia el año 1939 con el objetivo principal de posibilitar a las familias de escasos recursos económicos del país la obtención de una vivienda propia y digna, las VIS son aquellas que reúnen los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 smlm) (Ministerio de Vivienda de Colombia, 1991, p. 2)

Con el objetivo de mantener unos costos bajos y un bajo índice de impacto ambiental, se pretende desarrollar modelos a partir de **fibras vegetales**, que “son estructuras celulares conformadas por diferentes polímeros de celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina, importantes a nivel mundial en el proceso textil, alimentario e industrial” (Deaquiz & Moreno, 2016, p. 30), han tomado gran importancia con el paso de los años en diferentes industrias debido a sus propiedades y al hecho de que éstas son recursos renovables.

Las fibras vegetales se clasifican en seis tipos principales:

- Fibras de hilaza (yute, lino, cáñamo, ramio y kenaf)
- Fibras de hojas (abacá, fique y piña)
- Fibras de semillas (coco, algodón y kapok)
- Fibras medias (kenaf, cáñamo y yute)
- Fibras de lámina (trigo, maíz y arroz)
- Demás tipos (madera y raíces)

#### **5.2.4 Materiales aglutinantes**

Los materiales aglutinantes se definen como “una sustancia más o menos líquida y pegajosa que reúne las condiciones de aglutinar y adherir las partículas” (García & Armiñana, 2010, p. 2), para la construcción los aglutinantes son aquellos que permiten una homogenización de mezcla entre materiales, son utilizados comúnmente para la unión de construcciones en mampostería, estos “son compuestos con la capacidad de unir partículas de uno o más materiales para formar una masa sólida; la forma en que llevan a cabo la unión, se denominan aglomerantes o conglomerantes” (Peña, 2016, p. 39).

**Aglomerantes:** “Son materiales capaces de unir fragmentos de otras sustancias y dar cohesión al conjunto por mecanismos físicos” (Barluenga, 2007, p. 2). Algunos ejemplos de estos materiales son los betunes y las arcillas.

**Conglomerantes:** De acuerdo con Barluenga (2007) “son materiales capaces de unir fragmentos de otras sustancias y dar cohesión al conjunto por transformaciones químicas en su masa (fraguado), produciendo nuevos compuestos” (p. 2). Pueden ser yesos, cales y cementos.

Los aglutinantes además se dividen en varios tipos, estos pueden clasificarse en colas, resinas, aceites, gomas.

### 5.3 Marco histórico

Las fibras naturales se han utilizado a lo largo de la historia como materia prima para la fabricación de diferentes productos, estas han “sido de gran importancia para el avance de la civilización humana, para algunos el más importante tras la utilización, manejo y domesticación de las plantas alimenticias” (Vidal & Hormazábal, 2016, p. 12).

Históricamente, las plantas fibrosas han sido investigadas y aprovechadas para estos dos usos: el lino y cáñamo en Europa, la paja de arroz y el ramio en Asia, el agave, el yute y el algodón en la India, África o en América. Durante casi dos milenios, algunas de estas plantas han representado la única fuente de aprovisionamiento para los materiales fibrosos textiles y papeleros (Chabbert et al., 2010 como se citan en Vidal & Hormazábal, 2016, p. 12).

Dentro de las diferentes fibras naturales de origen vegetal se encuentra la del coco, que es obtenida de su cáscara, esta fruta tropical es el fruto de la palma cocotera o palama de coco (*cocos nucifera*) “nativa de las zonas costeras del sureste de Asia (Malasia, Indonesia, Filipinas)” (Chan & Craig, 2006, p. 2) se estima que el coco llegó al Pacífico hace 4500 años, al este de África, India y Sri Lanka hace 3000 años, y al Caribe y resto de África durante el siglo XVI por medio de la llegada de exploradores europeos.

Desde su llegada a América y el Caribe la palma cocotera ha sido utilizada para el beneficio del ser humano, pues es aprovechable desde la semilla hasta su fruto, dentro de los diferentes usos que la comunidad le ha dado a esta planta se encuentran:

- La cáscara del coco como abono.
- Protección de las costas contra erosión de olas.
- Sombra para cultivos aledaños.

- Jardines caseros para consumo de su fruto.
- Árbol cortavientos.
- Residuos como fuente de combustible.
- Fibras para sombreros, cestas y esteras
- Aceites de uso cosmético y doméstico.
- Fibras para la fabricación de colchones.

## **5.4 Marco normativo**

### **5.4.1 NTC 5316**

Es la Norma Técnica Colombiana equivalente a la ANSI/ASHRAE 55 mediante la cual se estipulan las condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas, por medio de ella se establece que las condiciones deben ser percibidas como aceptables para al menos el 80% de los ocupantes.

Esta norma tiene como objetivo tratar factores ambientales y personales (relativos a actividades y vestuario) para así poder establecer criterios que permitan especificar las condiciones adecuadas para el confort térmico de las personas en lugares de hasta 3.000 metros de altura. Dentro de esta norma no se contemplan otros aspectos que afectan el confort de las viviendas en su interior, como lo son la iluminación, la acústica, la calidad del aire.

En ella se especifica que para que un ambiente interior pueda estar en el marco de lo que se considera como confort térmico, su temperatura debe encontrarse en un valor igual o mayor a 21°C y la humedad interior permanecer en un rango entre 40% y 70%.

### **5.4.2 ANSI/ASHRAE 55 – 2017**

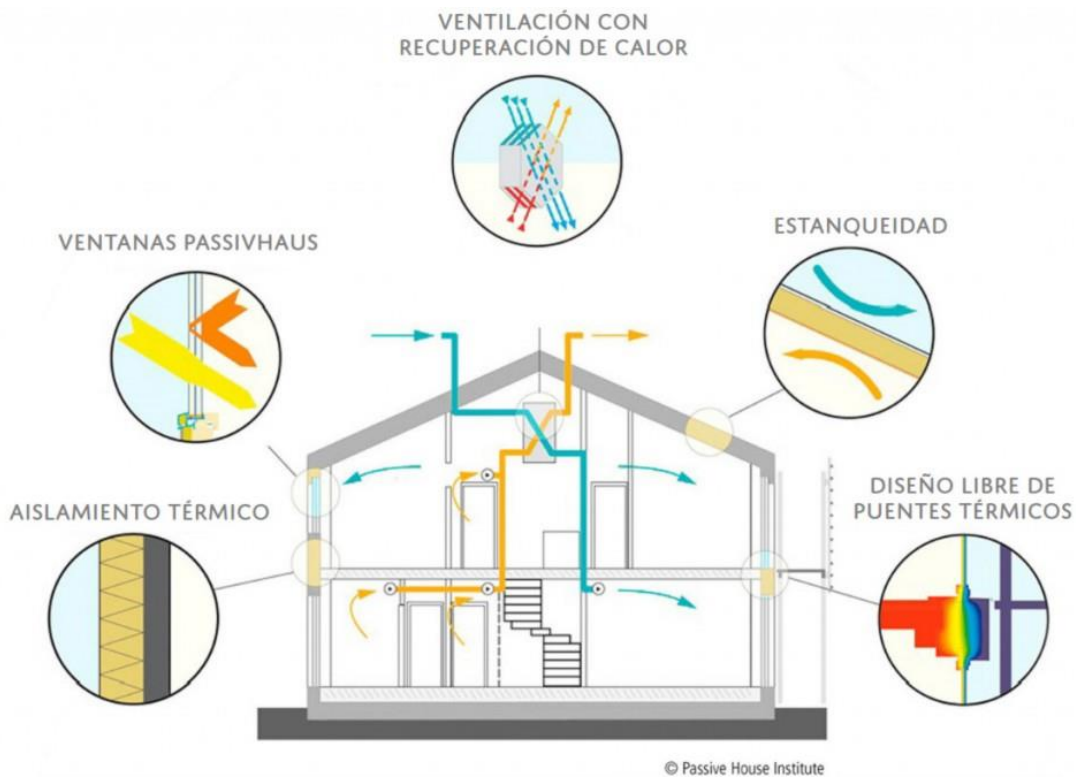
La ASHRAE fue fundada en 1954, resultado de la unión entre la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado (ASHAE) y la Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración (ASRE), esta asociación se enfoca principalmente en la investigación de sistemas de edificios. En la ASHRAE 55 se encuentran contenidas las especificaciones sobre las condiciones para un ambiente térmico aceptable, se desarrolló con el objetivo de ser utilizada para su uso en el diseño, operación y funcionamiento de cualquier edificación en la que se encuentren usuarios ocupando un espacio.

Además, incluye también métodos para la evaluación de las condiciones térmicas en los espacios, así como una tabla en la que se demuestra la temperatura que aportan las prendas de vestir de los usuarios contribuyendo con la sensación térmica de estos en los espacios.

#### **5.4.3 Passive house**

Es un estándar de edificaciones para que estas sean energéticamente eficientes, cómodas y asequibles, este concepto se puede aplicar en cualquier lugar, para que una construcción cumpla con los estándares de Passive house debe acatar 5 requerimientos establecidos por este Instituto:

- Ventilación con recuperación de calor: Permite una mejora en la calidad del aire interior, así como ahorro de energía, al menos el 75% del aire de salida es transferido nuevamente al aire fresco.
- Ventanas Passivhaus: Los marcos de las ventanas deben contar con acristalamientos relleno de criptón o argón con el fin de evitar la transferencia de calor, su valor U debe ser igual o menor a  $0,80 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{K)}$ .
- Diseño libre de puentes térmicos: Se procura que el diseño evite en la medida de lo posible los puentes térmicos, las esquinas, bordes, penetraciones y conexiones deben estar planeadas meticulosamente.
- Estanqueidad: "Las fugas incontroladas a través de los huecos deben ser inferiores a 0,6 del volumen total de la casa por hora durante una prueba de presión a 50 Pascal (tanto presurizada como despresurizada)." (Passive House Institute, 2015, párr. 12)

**Figura 4***Passive House*

Tomado de: <https://www.onventanas.com/passive-house/>

Respecto a las condiciones térmicas al interior de los espacios Passive house establece que la temperatura se debe mantener alrededor de los 25°C, para los elementos de fachada y envolventes arquitectónicas los materiales deben presentar un coeficiente de 0,15 W/(m<sup>2</sup>K), es decir su valor U, como máximo, lo que pretende la Passive house es establecer una guía estricta para el desarrollo de edificaciones ambiental y energéticamente sostenibles.

#### 5.4.4 NORMA ISO 7730

Esta norma internacional, que aborda la evaluación de los ambientes térmicos moderados, ha sido desarrollada en paralelo con la revisión de la norma 55 de ASHRAE, y forma parte de una de una serie de documentos que especifican métodos para la medida y evaluación de los ambientes térmicos moderados y extremos a los que los seres humanos están expuestos (ISO 7730, 2005, p. 7)

De acuerdo con esta normativa un método para la evaluación del confort térmico en los espacios es el del Voto Medio Estimado (PMV) mediante el cual es posible determinar el valor medio obtenido posterior a la votación de un grupo de personas de acuerdo en un espacio respecto a una escala de 7 niveles para evaluar el equilibrio térmico del cuerpo humano.

**Tabla 1**

*Niveles de equilibrio térmico*

PUNTUACIÓN	SENSACIÓN TÉRMICA
+3	Mucho calor
+2	Bastante calor
+1	Algo de calor
0	Neutra
-1	Algo de frío
-2	Bastante frío
-3	Mucho frío

Tomado de: Evaluación del malestar térmico en locales de trabajo cerrados mediante los índices térmicos PMV y PPD, Pilar Armendáriz Pérez de Ciriza  
 (<https://www.insst.es/documents/94886/0/Evaluaci%C3%B3n+del+Bienestar+t%C3%A9rmico+en+locales+de+trabajo+cerrados+mediante+los+%C3%ADndices+t%C3%A9rmicos+PMV+y+PPD/f21b631c-4495-4556-a53a-2c85949a209e>)

#### 5.4.5 NORMA ISO 10878

Es la normativa para la realización de ensayos no destructivos con el uso de termografía para la medición de la temperatura, en ella se encuentra la definición de los términos que permiten una mayor



comprensión del uso de la tecnología de termografía infrarroja en ámbitos académicos e industriales, así como facilita la interpretación de los resultados obtenidos en las pruebas. Dentro de los términos más relevantes para el desarrollo de los ensayos se encuentran:

**Campo de visión:** Se refiere a la superficie sobre la cual se va a integrar la energía radiante entrante total.

**Cámara termográfica:** Como lo indica la ISO (2013), esta es un

Instrumento que recolecta la energía radiante infrarroja de un objetivo y produce una imagen en monocromo (blanco y negro) o en color, donde los tonos grises o los matices de color están relacionados con la distribución de la temperatura aparente del objetivo. (párr. 88)

**Termómetro de radiación o radiómetro:** “Instrumento para la medición de temperatura sin contacto por radiación térmica del objeto” (ISO, 2013, párr. 97).

### 5.5 Caso de estudio

El estudio de caso es el conjunto residencial de Vivienda de Interés Social (VIS) Yerbamora Reservado, ubicado en la ciudad de Bogotá, localidad de Suba, específicamente barrio Fontanar.

Dirección: Calle 145 # 128 - 41

#### **Figura 5**

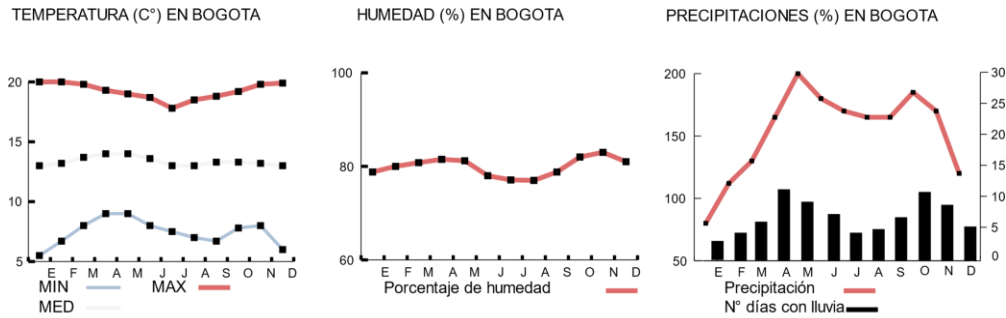
*Localización de caso de estudio*



Tomado de: <https://www.google.com/maps/@15,-2.970703,3z?hl=es>

Este conjunto es de tipo Vivienda de Interés Social (VIS), cuenta con dieciocho (18) torres de apartamentos, cada una con seis (6) pisos y cuatro (4) apartamentos por piso, de acuerdo con los niveles de estratificación de la ciudad este conjunto es estrato tres (3), el sector en el que se ubica el conjunto es de carácter residencial, contando también con algunos establecimientos de comercio.

Para el análisis contextual del proyecto se incluye el análisis de las variables climáticas de la ciudad de Bogotá, como lo son, la temperatura promedio, humedad e índice de precipitaciones, a continuación, se presentan los gráficos que contienen esta información.

**Figura 6***Condiciones climáticas de Bogotá*

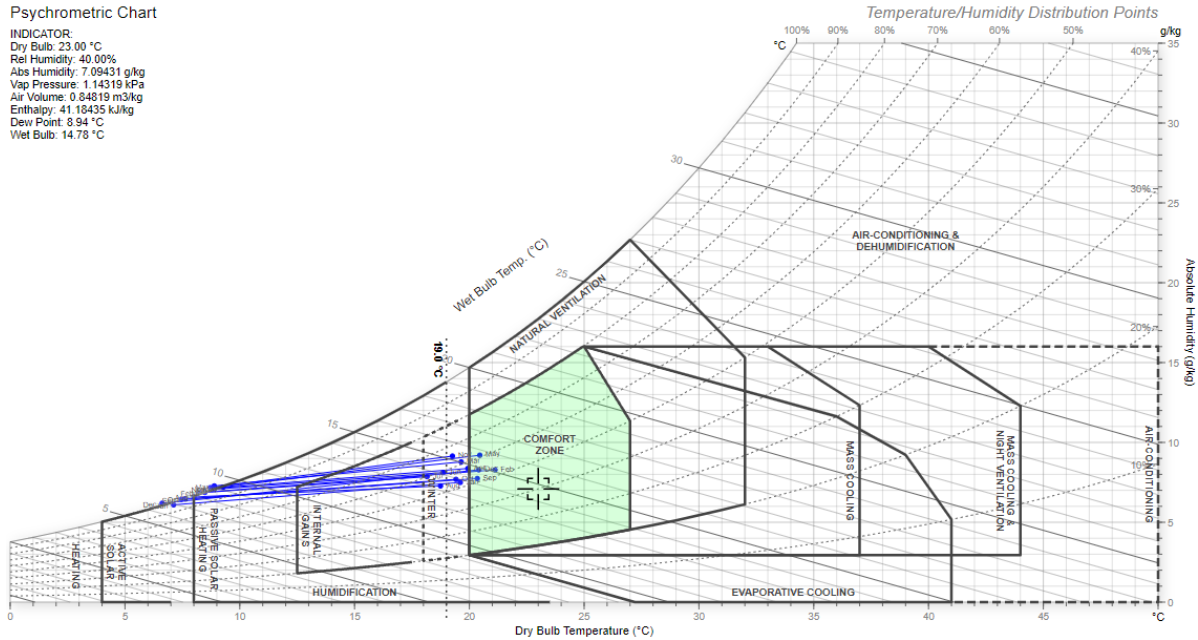
Elaboración propia, datos obtenidos del IDEAM

Teniendo en cuenta los gráficos anteriores se puede determinar que el clima de Bogotá es frío, tiene dos temporadas de lluvia, su temperatura anual promedio se encuentra entre los 13°C y 14°C, la humedad varía entre el 75% y el 85% y se mantiene estable durante todo el año.

Con el fin de identificar la incidencia que tienen las condiciones climáticas de una ciudad como Bogotá sobre las condiciones de confort térmico al interior de las edificaciones se realiza una serie de simulaciones, para la elaboración de diagramas psicrométricos que permitan establecer si la ciudad se encuentra o no dentro de una zona de confort.

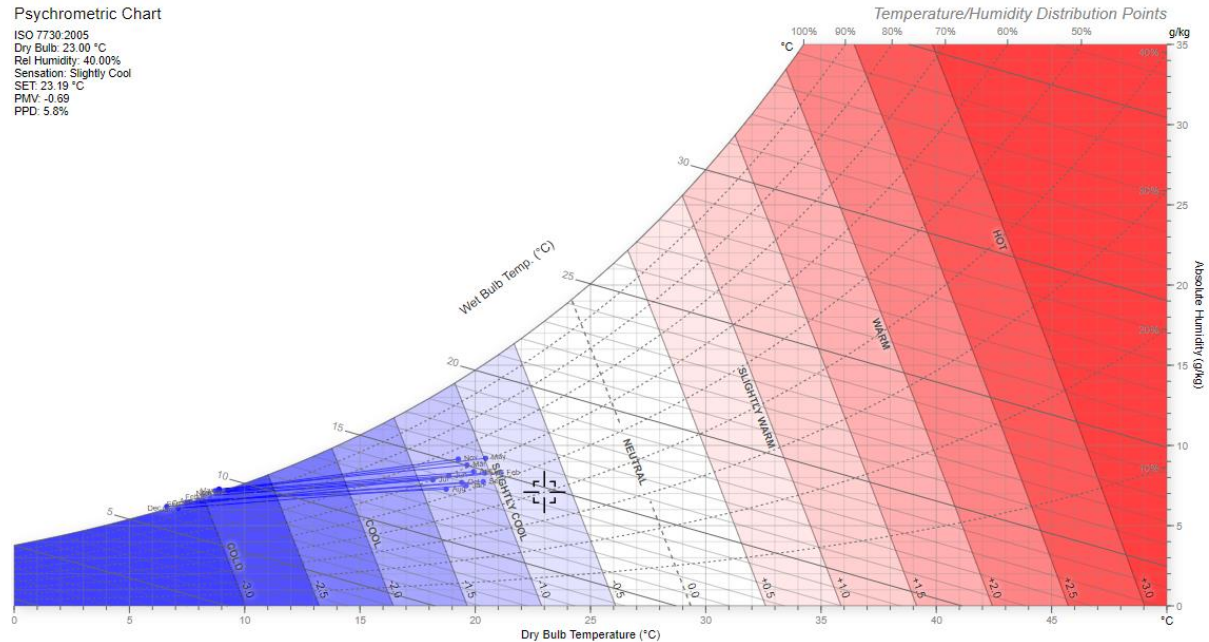
**Figura 7**

*Diagrama de Givoni*



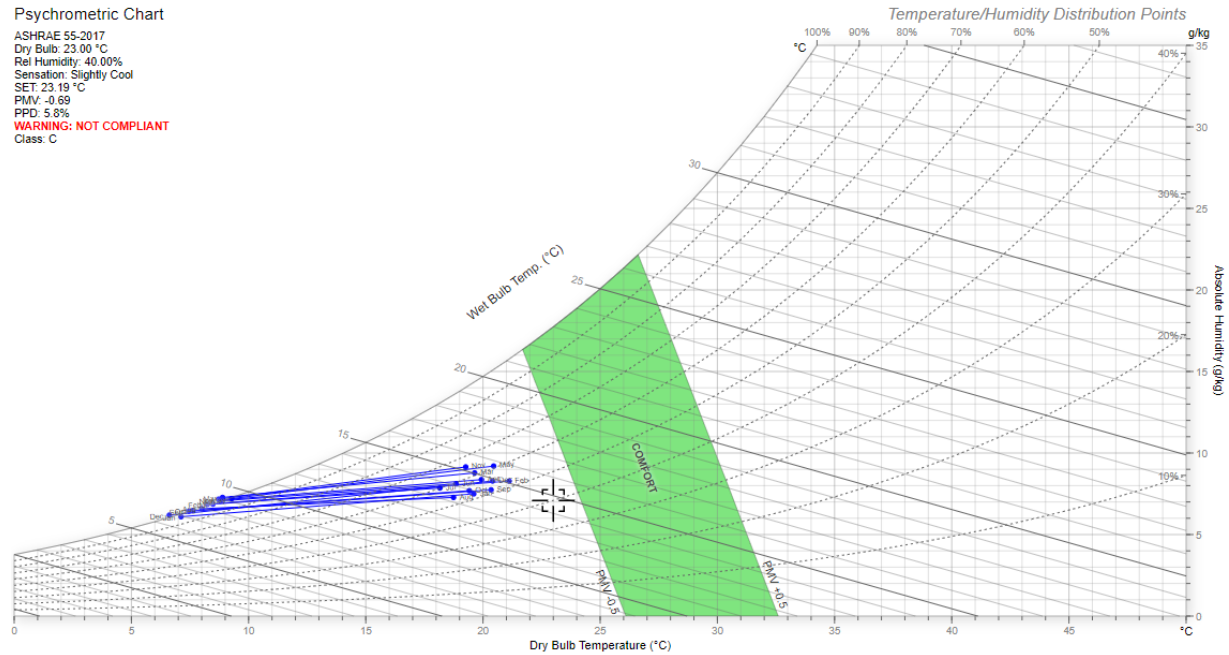
Adaptado por L. Coronel 2021 (<https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html>)

De la anterior figura se puede establecer que las condiciones climáticas de la ciudad de Bogotá no le permiten ajustarse a las condiciones determinadas para la zona de confort respecto a los aspectos evaluados para ventilación natural, temperatura de bulbo seco, enfriamiento por evaporación y demás variables, lo cual dificulta el cumplimiento de las normativas vigentes que rigen el confort térmico.

**Figura 8***Cuadro psicrométrico ISO 7730*

Adaptado por L. Coronel 2021 (<https://drajmarsh.bitbucket.io/psycho-chart2d.html>)

Para esta simulación de zona de confort se utiliza como referencia la normativa internacional ISO 7730, por medio de la cual se establecen 7 niveles para evaluar la sensación térmica al interior de los espacios, en ella se determina que para que un espacio sea catalogado como un lugar que cumple con la norma, los ocupante de este deben percibirlo como neutro, las condiciones climáticas de Bogotá con respecto a esta normativa no cumplen con las de una zona neutra, lo que implica un mayor esfuerzo para llevar a que las edificaciones estén dentro del marco de la ISO 7730.

**Figura 9***Cuadro psicrométrico ASHRAE 55*

Adaptado por L. Coronel 2021 (<https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html>)

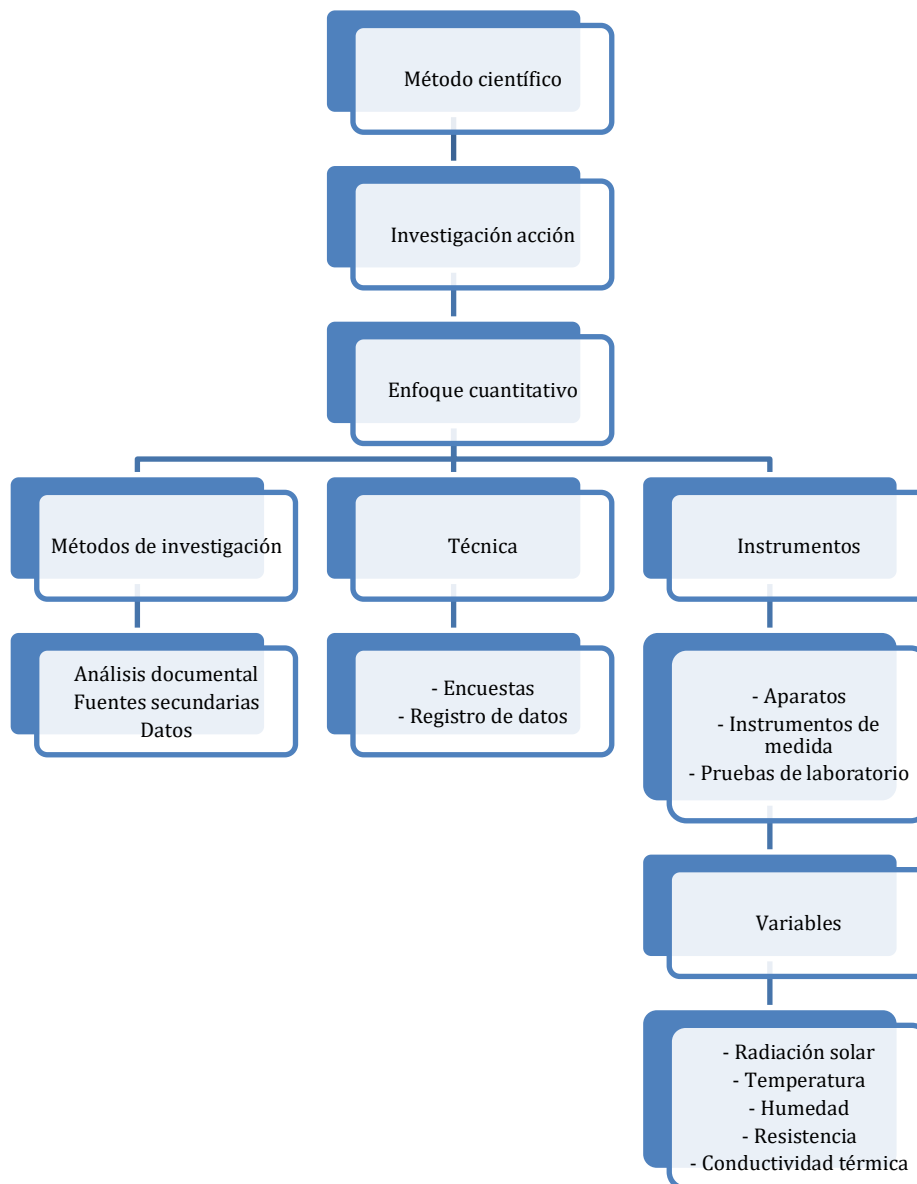
Para la elaboración de este cuadro psicrométrico se toma como estándar la ASHRAE 55, normativa internacional que se toma como referencia para determinar el cumplimiento de los espacios respecto al confort térmico, en la gráfica se puede observar que al igual que para las anteriores simulaciones las condiciones climáticas de Bogotá no se encuentran dentro de la zona para el confort térmico.

## 6. Metodología

A continuación, se presenta un mapa conceptual de la metodología en el cual se encuentran los diferentes instrumentos, métodos y técnicas empleados para el desarrollo de la misma.

**Figura 10**

**Esquema de metodología**



La metodología que se lleva a cabo para la realización de este proyecto consta de 4 fases: Observación, Experimentación, Teoría y Conclusiones.

## **6.1 Diagnóstico**

### **6.1.1 Caracterización de condiciones climáticas:**

Para iniciar la primera fase de la metodología se desarrolla una caracterización de las condiciones climáticas de la ciudad de Bogotá, lugar donde se encuentra localizado el caso de estudio, para esta caracterización se recopilarán datos como temperatura promedio, máxima y mínima, humedad relativa, altitud y latitud y categorización del clima de acuerdo con el IDEAM, los datos recopilados se obtienen de la estación del Aeropuerto El Dorado en Bogotá.

### **6.1.2 Encuestas a los residentes:**

En esta primera etapa se identificarán las problemáticas relacionadas con la carencia de confort térmico en los apartamentos del conjunto residencial Yerbamora Reservado, por medio de la realización de encuestas a los residentes que permitan determinar la existencia de estos inconvenientes, con el fin de identificar las inconformidades de los usuarios se plantean las siguientes preguntas:

1. ¿En cuál torre vive?
2. ¿En cuál piso vive?
3. ¿Cuántas personas viven en el apartamento?
4. ¿Ha sentido incomodidad con la sensación térmica al interior de su vivienda?



### **6.1.3 Toma de valores con higrómetro:**

Una vez identificadas las problemáticas presentes en el caso de estudio se procede a la medición de las condiciones de humedad y temperatura al interior de algunas de las viviendas por medio de la utilización de un higrómetro para así establecer si se encuentran dentro de los estándares de confort térmico estipulados por la NTC 5316 y ASHRAE 55, una vez se haya determinado si las viviendas cumplen o no con las condiciones de temperatura y humedad requeridas se llevará a cabo una simulación de asoleación que permitirá precisar aquellas viviendas que se encuentran con la menor incidencia de radiación solar durante diferentes épocas del año. Una vez culminados estos procesos se va a seleccionar uno de los apartamentos en el cual se presenten las condiciones más ineficientes para realizar en las etapas posteriores los ensayos sobre esa vivienda específica garantizando así que si el panel aislante presenta resultados favorables allí también se verán reflejados en aquellas viviendas cuyas condiciones son menos críticas.

### **6.1.4 Matriz de asoleación:**

Se desarrolla por medio del software 3D Sun-Path de Andrew Marsh una simulación del recorrido solar durante un año sobre el caso de estudio con el fin de lograr identificar cuáles son las viviendas cuyas condiciones térmicas se ven más afectadas por la radicación solar, siendo esta una de las variables más influyentes sobre el confort térmico, se utilizan 3 fechas (21 de marzo, 21 de junio, 21 de diciembre) y 3 horas del día (9:00 am, 12:00 pm, 4:00 pm).

### **6.1.5 Simulación térmica:**

Una vez finalizados los diagnósticos previamente mencionados se ejecutará una simulación térmica del funcionamiento de los bloques de apartamentos en su condición actual por medio del

software Design Builder. Para el desarrollo de la simulación se tienen en cuenta aspectos como la materialidad del edificio, las condiciones climáticas de Bogotá, materialidad y espesor de muros divisorios, condensación, humedad, temperatura.

## 6.2 Experimentación

Para esta etapa se llevará a cabo el planteamiento y la elaboración de 3 diferentes prototipos y se seleccionará aquel que presente las mejores características de compacidad y firmeza, posteriormente este será sometido a ensayos de laboratorio que permitan determinar su resistencia, conductividad térmica y transmitancia térmica.

Para iniciar con la propuesta de los prototipos de panel se hace una valoración de los diferentes tipos de aglutinante para así elegir el/los que se obtengan de manera natural, no sean sintéticos, sean de fácil acceso y un bajo costo, una vez determinados los aglutinantes que se van a utilizar se procede a plantear 3 dosificaciones de mezcla diferentes variando las cantidades de fibra, aglutinante(s) y el estabilizante, se llevará a cabo la elaboración de los prototipos, cuyas medidas serán de 8 x 8 x 0.5 cm para evaluar la firmeza de la mezcla, la compacidad y la dureza de la misma, de acuerdo con los resultados que presenten los prototipos se establecerá la mezcla que mejores resultados demuestre como dosificación final para la elaboración del panel que será sometido a los ensayos que determinarán su efectividad como aislante térmico.

El panel contará con unas dimensiones de 50 x 50 x 2 cm, se elaborará un marco de madera de pino que dará soporte y estabilidad, sobre una base plástica será vertida la mezcla del aglutinante junto con los estabilizantes y la fibra de coco en las proporciones determinadas en los pasos anteriores.

El primer ensayo al cual será sometido el prototipo final es el de flujo de calor, el panel se expondrá a un bombillo infrarrojo como simulación de una fuente de calor, posterior a ello se medirá la

temperatura en cada una de las superficies del panel utilizando una cámara termográfica para así valorar la efectividad del panel en cuanto a conductividad térmica.

### **6.3 Resultados**

Esta se establecerá una vez se haya determinado cuál de los prototipos cuenta con las mejores propiedades para desarrollar el sistema de paneles planteado en este proyecto, en esta teoría se determinarán cuáles son los beneficios, costos y funcionamiento de los paneles.

### **6.4 Sistema de anclaje**

En esta última etapa de desarrollo del proyecto se presentará una propuesta de anclaje para el sistema de paneles de fibra de coco que permita al usuario instalar por sus propios medios el aislamiento térmico facilitando así su uso y ofreciendo ventajas sobre los productos existentes en el mercado que requieren de mano de obra y herramientas especializadas.

## 7. Desarrollo de propuesta

### 7.1 Etapa 1: Diagnóstico

#### 7.1.1 Caracterización de las condiciones climáticas de Bogotá y factores que influyen en el confort térmico

En esta primera fase se establecen cuáles son las condiciones climáticas que afectan el confort térmico en las viviendas para el caso de estudio, para ello se obtienen datos de temperatura promedio, máxima y mínima de la ciudad de Bogotá, *así como* también la humedad relativa promedio al año, estas variables son proporcionadas por el IDEAM, estación del Aeropuerto El Dorado. Los datos obtenidos por esta entidad permiten establecer que la temperatura promedio se encuentra entre los 13°C y 14°C, determinando que la ciudad es de clima frío, su humedad relativa varía entre el 75% y 85% durante el año. La caracterización de estas condiciones contribuye para la evaluación de la incidencia que tienen estas variables sobre la sensación térmica al interior de las viviendas.

De acuerdo con las normativas ASHRAE 55 - 2017 e ISO 7730 además de las condiciones climáticas del lugar de implantación también existen otros factores que afectan de manera directa el confort térmico en las viviendas, dentro de los cuales se pueden encontrar:

- La materialidad de los edificios
- La materialidad de muros divisorios, así como su grosor
- El tipo de piso (baldosa, madera, caucho, cerámica, etc.)
- Dirección, velocidad y temperatura de los vientos
- Sistema de ventilación del edificio
- Número de ocupantes
- Tipo de actividad desarrollada en los espacios

- Vestimenta de los ocupantes

La primera de las variables analizada es la materialidad del edificio, este se compone principalmente de ladrillos de arcilla, cuyo índice de conductividad térmica es de 0,80, lo cual nos indica que el material tiene una alta capacidad para transmitir el calor y el frío de una superficie a otra, permitiendo así que el frío exterior ingrese con facilidad a los espacios interiores y el calor que se gana al interior de las viviendas sea transferido rápidamente hacia la zona exterior. En conclusión, la materialidad del edificio es uno de los aspectos que está afectando de manera negativa el confort al interior de las viviendas.

El siguiente atributo a tener en cuenta es la materialidad y grosor de los muros divisorios de las viviendas, los cuales se constituyen de concreto y tienen un grosor de 12 cm, la conductividad térmica del concreto es de 1,2, esto sugiere que el material tiene una capacidad superior a la del ladrillo de arcilla utilizado en las fachadas para transmitir temperaturas entre superficies, lo que permite señalar que si uno de los espacios interiores tiene una ganancia de calor y el espacio contiguo que el muro de concreto divide presenta una temperatura inferior, las condiciones de ambas áreas se verán afectadas ya que la materialidad y grosor del muro permitirán que con facilidad las temperaturas sean distribuidas entre ambas zonas. Respecto a las consideraciones de los muros divisorios que componen las viviendas se puede determinar que al igual que la materialidad de las fachadas estos también están afectando de manera negativa la sensación térmica de los residentes en sus apartamentos.

Con relación a los acabados de piso se encuentra que estos influyen sobre el confort térmico de manera similar a la que lo hacen los muros divisorios, de acuerdo con el índice de conductividad térmica que presente el material utilizado (este varía en cada uno de los apartamentos) se presentan pérdidas y ganancias de calor en los apartamentos, los materiales que se encontraron más comunes fueron los pisos de madera laminada, baldosas en cerámica y de caucho (terminación con la que se hizo entrega de

los apartamentos) se halla que el coeficiente de conductividad térmica de los materiales es de 0,13, 0,7 y 0,2 respectivamente, esto significa que aquellos apartamentos cuyo piso es en madera laminada presentan menores pérdidas de calor relacionadas con la materialidad del mismo, mientras que aquellos que tienen baldosas cerámicas demuestran un comportamiento menos favorable en las condiciones de confort térmico.

Los factores que se evalúan a continuación son la dirección, temperatura y velocidad de los vientos en relación con el sistema de ventilación del edificio, en el análisis de la incidencia que tienen los vientos sobre las condiciones térmicas de las viviendas se halló que una ventilación que permite el ingreso del aire sin una salida para un cambio constante puede llegar a afectar negativamente la temperatura interior de las edificaciones, esto debido a las condiciones climáticas de Bogotá puesto que esta es una ciudad fría.

Para finalizar el análisis de los aspectos que influyen en el confort térmico de las viviendas se evalúan las condiciones que involucran de manera directa a los ocupantes, es decir las actividades que desarrollan en los espacios, las prendas de vestir que utilizan y la cantidad de personas que se permanecen en las diferentes áreas del apartamento, se comprueba que aquellos espacios destinados al descanso del usuario como lo son las habitaciones presentan temperaturas más bajas que las zonas en las cuales el usuario se encuentra en un constante movimiento como lo son la cocina y el comedor, esto se debe a el intercambio de calor entre las personas y los objetos.

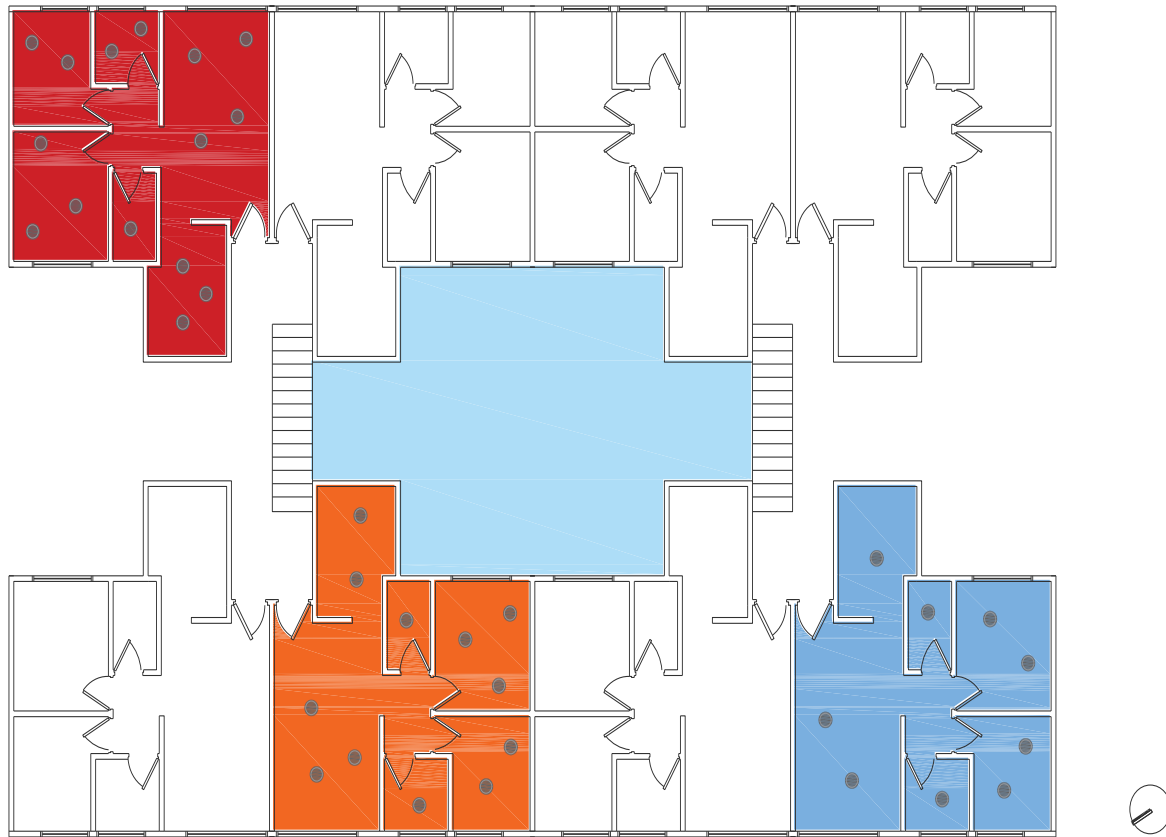
Otro de los factores determinantes en la sensación térmica que tiene un usuario al interior de su residencia se relaciona de forma directa con las prendas que este utiliza, pues una persona que en un clima frío como el de Bogotá utiliza prendas como chaqueta, pantalón, suéter y camisa, presentará una mejor percepción de las condiciones térmicas interiores que una persona que utiliza una pantaloneta y camiseta, de acuerdo con la ASHRAE 55 – 2017.

Así como los aspectos mencionados anteriormente, la cantidad de personas que se encuentran en los espacios es fundamental para el estado térmico de los espacios, mientras más usuarios ocupen un área mayor será la generación de calor en su interior, y a menor cantidad de personas la temperatura del lugar será más baja.

Una vez contemplados los demás aspectos que afectan las condiciones de confort al interior de las viviendas, se realiza el siguiente esquema en el cual se evalúa la forma en la que influyen ya sea negativa o positivamente, en ella se puede observar la variación de la temperatura en relación con la cantidad de ocupantes que habitan el espacio, a mayor número de personas en cada habitación aumenta la temperatura; respecto a los vientos se pudo determinar que por su dirección y la orientación del edificio se crea una concentración de aire en los patios interiores causando así que el frío ingrese a las residencias a través de las habitaciones principales.

**Figura 11**


*Condiciones que afectan el confort*



Elaboración propia

Temperatura interior -  +

Ocupantes 

Concentración de aire 

En la figura se puede apreciar la planta de un bloque de apartamentos del conjunto residencial Yerbamora reservado, las variables evaluadas en la figura fueron la temperatura interior en relación con la cantidad de ocupantes, se determina que a mayor número de personas en cada espacio aumenta la temperatura interior; se analiza también la dirección de los vientos que debido a la orientación de la



torre evaluada generan una concentración en el patio interior derivando así en una fuente de aire frío que ingresa a las viviendas del primer piso.

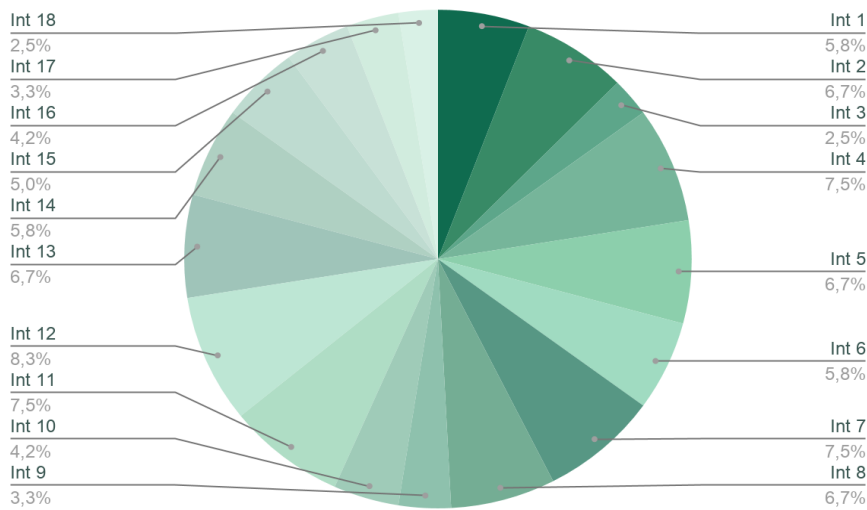
**7.1.2 Encuestas a residentes**

Para el desarrollo de la etapa inicial del diseño metodológico del proyecto se lleva a cabo en primera instancia una encuesta a una muestra poblacional de 120 personas residentes del conjunto residencial Yerbamora Reservado con el fin de diagnosticar la situación actual de confort térmico al interior de las viviendas, a partir de esta encuesta realizada a los habitantes se llegó a las siguientes conclusiones para cada una de las preguntas:

**1. ¿En cuál torre vive?**

**Figura 12**

*¿En cuál torre vive?*

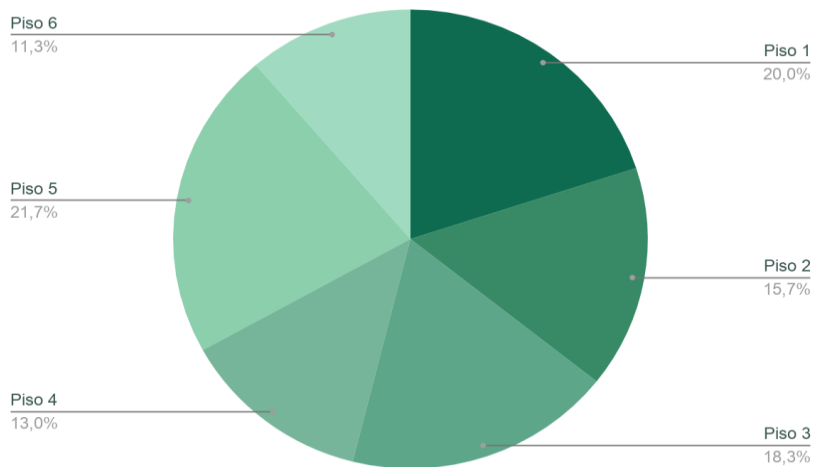


Elaboración propia

**2. ¿En cuál piso vive?**

**Figura 13**

*¿En cuál piso vive?*

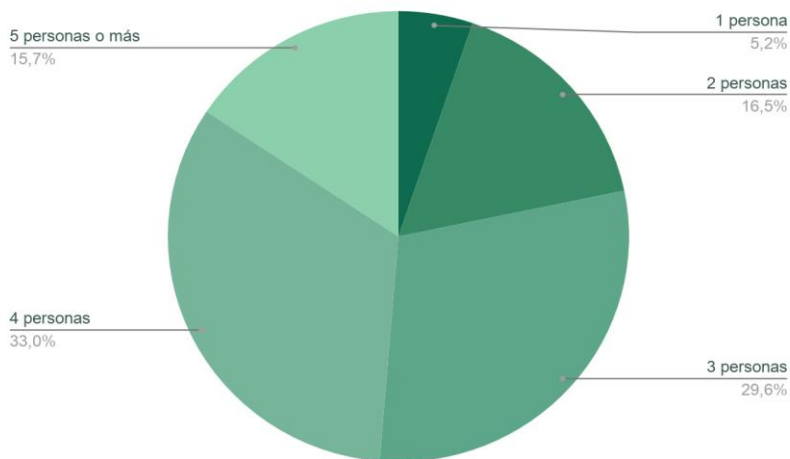


Elaboración propia

**3. ¿Cuántas personas viven en el apartamento?**

**Figura 14**

*¿Cuántas personas viven en el apartamento?*

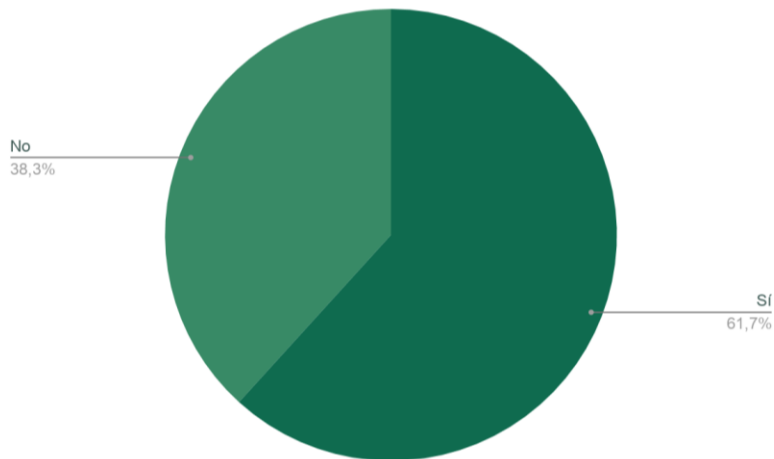


Elaboración propia

**4. ¿Ha sentido incomodidad con la sensación térmica al interior de su vivienda?**

**Figura 15**

*¿Ha sentido incomodidad con la sensación térmica al interior de su vivienda?*



Elaboración propia

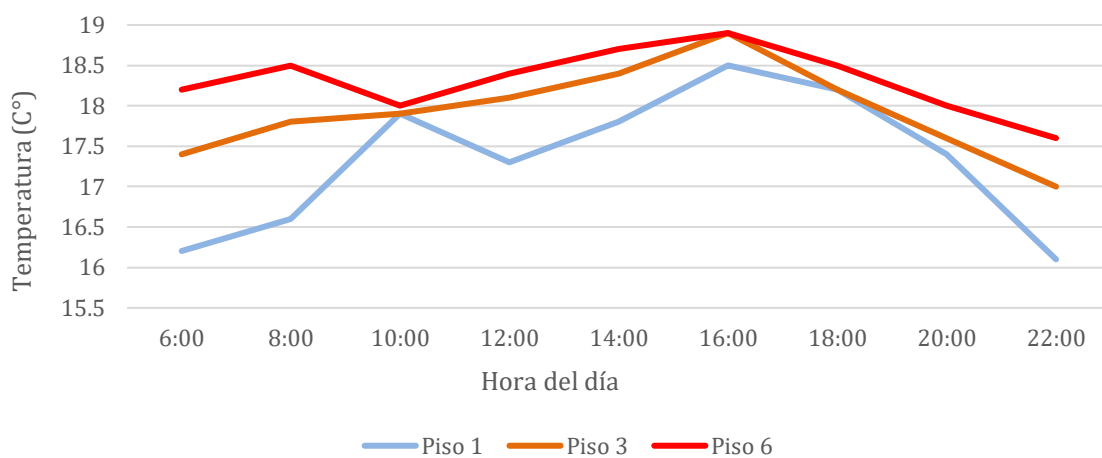
A partir de las respuestas obtenidas por medio de la realización de la encuesta se determina que al menos la mitad de la población encuestada presenta inconformidades con la situación actual de sensación térmica al interior de las viviendas, manifestando que las viviendas dan la sensación de frío y bajas temperaturas durante la mayor parte del día, por otro lado, los resultados de la primera y segunda pregunta de la encuesta permiten identificar que las personas que mayores inconvenientes presentan son aquellas que residen en los pisos más bajos (1,2 y 3), así como también aquellos cuya orientación se encuentra en dirección noroccidente, la tercera pregunta permite reconocer la influencia que tiene la cantidad de personas que habitan la vivienda para el intercambio de calor al interior de los apartamentos dejando ver que a mayor número de residentes es menor la sensación de disgusto con respecto a la percepción de temperatura dentro de las viviendas.

### 7.1.3 Toma de temperatura y humedad con higrómetro

En esta etapa de desarrollo de proyecto se realiza una serie de mediciones a diferentes apartamentos, cuya fachada se encuentra en sentido noroccidental, apartamentos que tiene una mayor afectación en sus condiciones de confort térmico, con el fin de comparar la temperatura en diferentes condiciones se toma la temperatura en los pisos 1, 3 y 6 mediante el uso de un higrómetro, una vez realizadas las mediciones se establece que las temperaturas varían entre los 16 C° y 19 C°, las temperaturas más bajas se obtienen del piso 1, mientras las más altas provienen del sexto piso; las temperaturas además se tomaron en tres (3) meses diferentes del año, permitiendo identificar que gracias a la mayor radiación solar recibida a finales de año las temperaturas presentan un leve aumento para los 3 apartamentos, presentando así un mejoramiento, pero sin conseguir cumplir con los estándares establecidos para la obtención de confort térmico al interior de las viviendas.

**Figura 16**

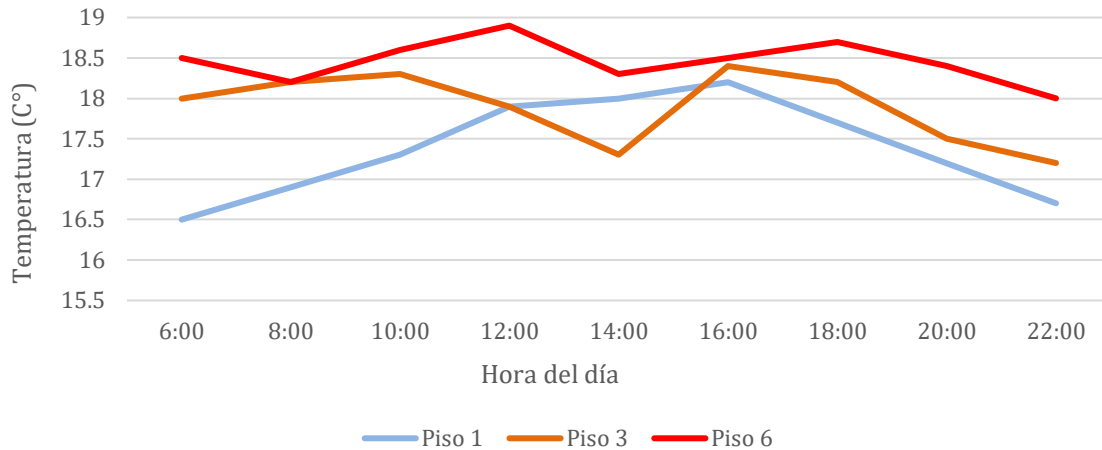
*Temperatura apartamentos piso 1, 3 y 6 mes de marzo*



Elaboración propia

**Figura 17**

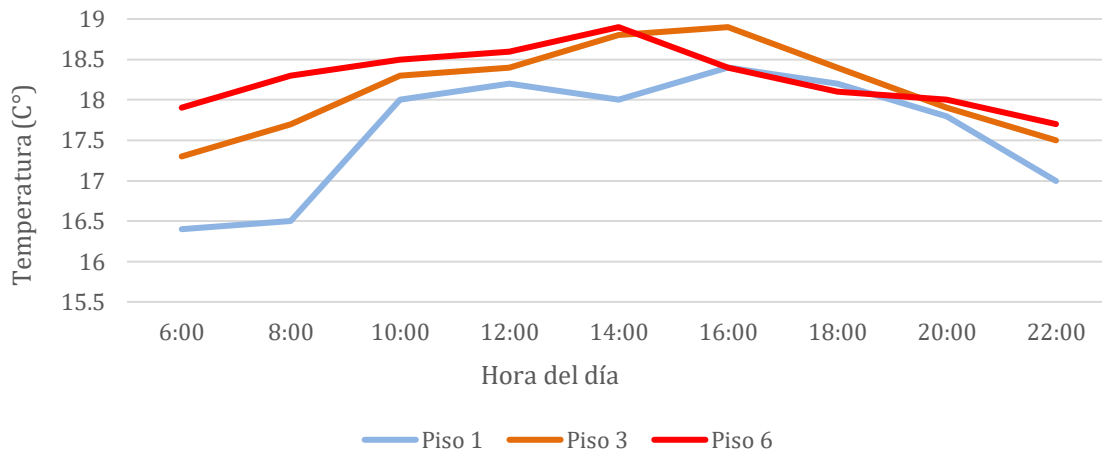
*Temperatura apartamentos piso 1,3 y 6 mes de junio*



Elaboración propia

**Figura 18**

*Temperatura apartamentos piso 1,3 y 6 mes de noviembre*



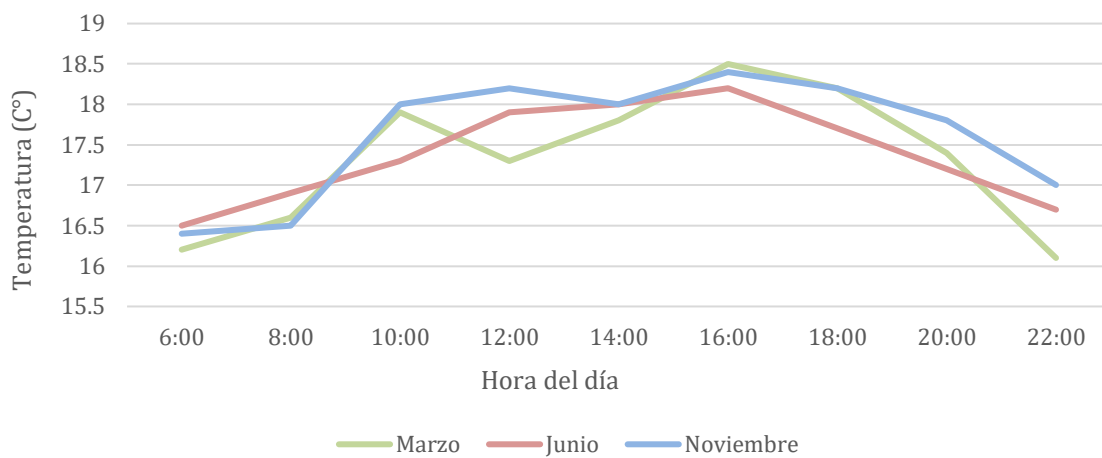
Elaboración propia

Una vez identificados los casos con mayores dificultades, se realiza la medición de las condiciones de humedad y temperatura de una de estas viviendas por medio de la utilización de un

higrómetro, se toma como caso crítico uno de los apartamentos ubicados en el primer piso, cuya fachada se orienta hacia el noroccidente, esto con el fin de establecer si las viviendas se encuentran dentro de los estándares nacionales e internacionales de confort térmico, como resultado se obtiene que la temperatura mínima se da en la noche y es de  $16,1^{\circ}\text{C}$  y la temperatura máxima es alcanzada en horas de la tarde y se encuentra en  $18,5^{\circ}\text{C}$ , demostrando así que las condiciones actuales no cumplen con los estándares establecidos por la ASHRAE 55 y la NTC 5316.

**Figura 19**

**Temperatura apartamento piso 1**



Elaboración propia

#### **7.1.4 Matriz de asoleación**

Para la reafirmación de los resultados obtenidos con la realización de la encuesta se desarrolla también una simulación de la incidencia solar sobre los apartamentos del conjunto residencial Yerbamora Reservado a lo largo del año, en diferentes horas del día. (Ver figura 2)

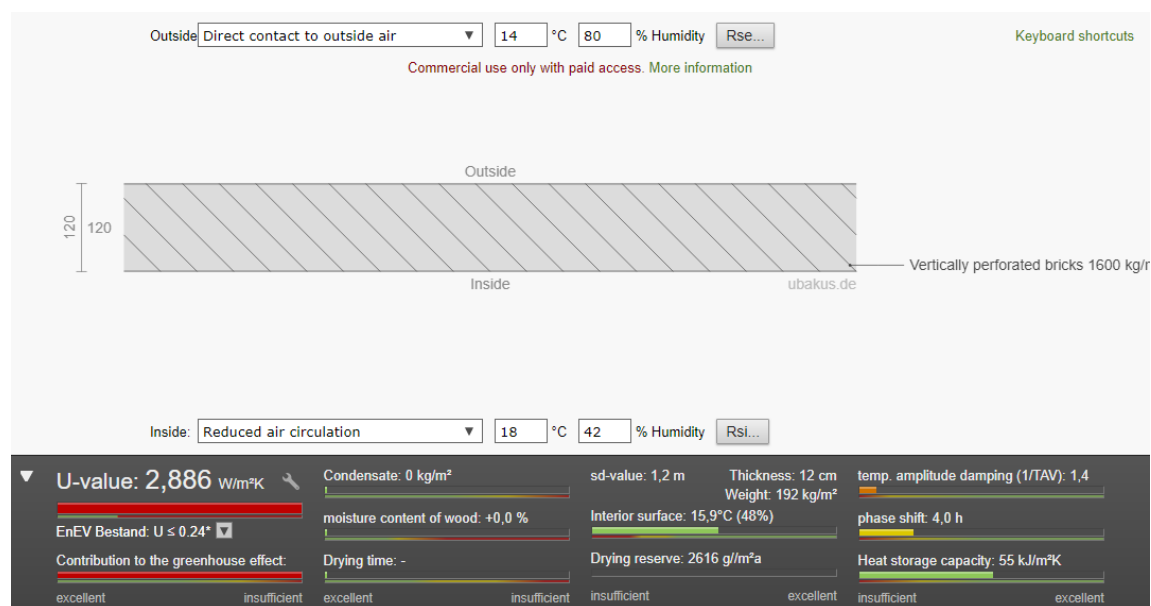
Como conclusiones de la matriz se obtiene como resultado que al igual que lo indicado por las encuestas los apartamentos que presentan una mayor afectación en las condiciones de sensación térmica son aquellos cuyas fachadas se orientan en sentido noroccidental, puesto que a lo largo de todo el año son los que menor radiación solar reciben en la mayoría del día, pues como se aprecia en el gráfico, el momento en el que son impactados de manera directa por el sol es en horas de la tarde, aproximadamente desde las 4:00 pm hasta las 6:00 pm, hora aproximada en la que se oculta el sol.

### 7.1.5 Simulación de valor U del muro en mampostería

Para esta sub-fase del proyecto se realiza una simulación del comportamiento térmico que tiene un muro en mampostería como lo es el muro de las fachadas del conjunto residencial Yerbamora Reservado en un lugar con las condiciones climáticas de la ciudad de Bogotá, para ello se utiliza el software Ubakus, mediante el cual se indican la temperatura promedio de la ciudad y su humedad relativa promedio, información previamente obtenida del IDEAM, una vez indicados los datos climáticos, se selecciona el material a evaluar, que en este caso es un muro de mampostería de ladrillos de arcilla perforados. Ubakus indica que el valor U del muro es de 2,8, lo que revela que la transmitancia térmica del material no es apropiada para ser utilizado como aislante térmico y además su utilización en Bogotá sin el acompañamiento de un aislante térmico deriva en un déficit de confort térmico al interior de las Viviendas de Interés Social (VIS) que se siguen desarrollando con estos materiales.

#### Figura 20

##### Valor U muro de mampostería



Elaboración propia



### ***7.1.6 Simulación térmica Design Builder***

Con el fin de valorar el comportamiento actual de las torres de apartamentos se lleva a cabo una simulación térmica por medio del software Design Builder, teniendo en cuenta variables como la temperatura promedio de la ciudad de Bogotá, la materialidad de los edificios, los acabados interiores y exteriores.

## **7.2 Etapa 2: Experimentación**

### **7.2.1 Selección y obtención de aglutinante y estabilizantes**

Para la elección de los materiales aglutinantes y estabilizantes se hizo una previa investigación de los beneficios de estos, costos y la facilidad para conseguirlos, una vez analizados estos aspectos se opta por utilizar la cal, el yeso y la cola blanca.

La cal, es un material abundante en el territorio nacional y ampliamente utilizado con fines constructivos en varias regiones del país, su obtención se da por medio del proceso de calcinación de rocas calizas, que posteriormente se comercializa en lugares como ferreterías, cadenas de comercio de materiales constructivos, así como distribuidores de material. Su precio asequible y su capacidad de endurecimiento con el pasar del tiempo la hacen ideal para aportar al panel la firmeza y resistencia requeridas para su movilidad y proceso de instalación.

El yeso, por sus múltiples aplicaciones es un material de fácil consecución, se distribuye, al igual que la cal en ferreterías, distribuidoras de materiales y cadenas de comercio de material constructivo, una de sus propiedades más destacables es la porosidad, que lo hace funcionar como aislante térmico, lo que lo convierte en un componente ideal para la elaboración de los paneles.

Como material aglutinante se selecciona la cola blanca (acetato de polivinilo), componente ampliamente utilizado en el sector de la carpintería, se caracteriza por su alta capacidad para la adhesión de objetos, su secado total se da en un tiempo igual o inferior a 24 horas, es de fácil aplicación y no es tóxico para el ser humano.

### ***7.2.2 Obtención de la fibra de coco***

La fibra de coco utilizada para el desarrollo de los paneles se obtiene del almacén de cadena Homecenter en su sección de jardinería, sin embargo el proceso de obtención se da en un principio en el municipio de Arbeláez, Cundinamarca, lugar en donde la empresa Calyx cuenta con una serie de cultivos por medio de las cuales obtienen los productos que comercializan, allí el coco es desfibrado de manera artesanal y posteriormente transportado a la ciudad de Bogotá para ser distribuido en diferentes puntos de venta.

Al momento de desarrollar los paneles para el sistema de aislamiento la fibra no es sometida a ninguna clase de proceso químico o artesanal para su tratamiento, esta se toma tal cual es comercializada y se procede a realizar la mezcla junto con los materiales aglutinantes y estabilizantes previamente mencionados.

### **7.2.3 Desarrollo de prototipos de mezcla**

Para la fase de desarrollo de posible mezcla se lleva a cabo la elaboración de 3 prototipos con una variación en la dosificación de la mezcla cuya composición se da por 4 materiales, como aglutinante se estableció la cola blanca, la fibra de coco y como estabilizantes se eligieron la cal y el yeso, para la determinación de la mezcla y su dosificación se procede a la realización de las muestras, cuyas medidas son: 0.08 x 0.08 x 0.005 m, las dosificaciones se presentan a continuación:

#### **1. Prototipo de mezcla 1:**

Para el primer prototipo desarrollado se utiliza un solo material estabilizante (la cal) y se dosifica de la siguiente forma:

- 70% fibra de coco
- 20% cal
- 10% cola blanca

**Figura 21**

**Prototipo de mezcla 1**



Elaboración propia

Los resultados arrojados por la mezcla de este primer prototipo son desfavorables, pues se pudo apreciar que la muestra presenta características como: desmoronamiento, poca compactación ya que los materiales no logran mimetizarse y se observa que las fibras se desprenden de la mezcla, el prototipo manifiesta también pandeo y falta de rigidez.

## 2. Prototipo de mezcla 2:

Para este segundo prototipo se realiza un cambio respecto al material estabilizante utilizado en la primera mezcla, pues se reemplaza la cal por el yeso, sin embargo, se conservan los mismos porcentajes de dosificación, los componentes se racionan de la siguiente forma:

- 70% fibra de coco
- 20% yeso
- 10% cola blanca

### **Figura 22**

#### **Prototipo de mezcla 2**



Elaboración propia

Los resultados presentados por este prototipo demuestran que la mezcla presenta falencias al igual que la utilizada en el anterior prototipo, pues el prototipo tiene una baja compactación, poca rigidez y deformación posterior al desmoldamiento de la misma.

### 3. Prototipo de mezcla 3:

Para el último prototipo se realiza la mezcla de ambos materiales estabilizantes con el objetivo de dar una mayor rigidez a la muestra, teniendo en cuenta las falencias presentadas por los prototipos anteriormente desarrollados, se dosifica de la siguiente manera:

- 80% fibra de coco
- 10% cola blanca
- 5% yeso
- 5% cal

#### **Figura 23**

#### **Prototipo de mezcla 3**



Elaboración propia

Los resultados que presenta el prototipo n° 3 demuestran una mayor efectividad en la mezcla, pues se establece que hay una mayor compactación, se logra una homogeneización de los materiales

utilizados, el prototipo muestra alta rigidez y no presenta deformación al momento de desmoldar ni posterior a ello.

Como conclusión de esta etapa de elaboración de prototipos se establece que la dosificación adecuada es la número 3, puesto que es la que presenta los mejores resultados, teniendo en cuenta esto se procede a desarrollar el prototipo final que posteriormente será sometido a las pruebas de laboratorio con el fin de comprobar su eficacia térmica.

#### ***7.2.4 Elaboración de prototipo final***

Para dar inicio a la etapa de experimentación del proyecto se procede a la elaboración de un panel de tamaño 0.50 x 0.50 x 0.02 M con la dosificación de mezcla establecida en el punto anterior, con el fin de ser sometido a las pruebas que finalmente determinarán su efectividad como aislante térmico, se establece que este panel cuente con un marco de madera que le proporcionará una mayor estabilidad para el momento de la instalación, a continuación se puede observar el proceso de elaboración del panel:

#### ***Figura 24***

##### ***Desarrollo de panel 1***



Elaboración propia



**Figura 25**

**Desarrollo de panel 2**



Elaboración propia

**Figura 26**

**Desarrollo de panel 3**



Elaboración propia

**Figura 27**

**Desarrollo de panel 4**



Elaboración propia

**Figura 28**

**Panel con malla e imprimante**



Elaboración propia

**Figura 29****Panel final con acabados**

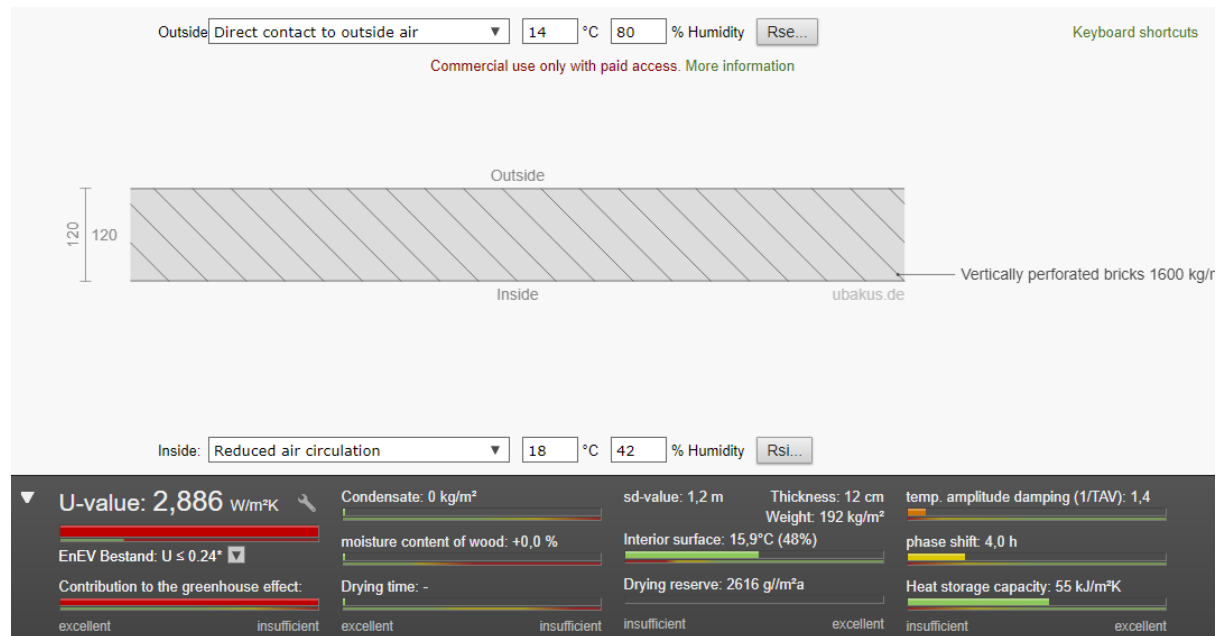
Elaboración propia

**7.2.5 Simulación de valor U con Ubakus**

Previo a la etapa de desarrollo del prototipo final, por medio de la herramienta Ubakus se desarrollan una serie de simulaciones mediante las cuales se evalúa la efectividad de los paneles partiendo de la composición de estos y su dosificación, realizando una comparación de las condiciones previas y posteriores a la utilización de los paneles aislantes, en ellas se tendrán en cuenta variables como la transmitancia térmica, la temperatura interior, capacidad de almacenamiento de calor, entre otras, serán utilizadas las condiciones climáticas de la ciudad de Bogotá D.C, temperatura promedio y humedad relativa promedio.

En la primera simulación realizada se muestra el comportamiento que presentan los muros de mampostería, que constituyen las fachadas de los apartamentos del conjunto residencial Yerbamora

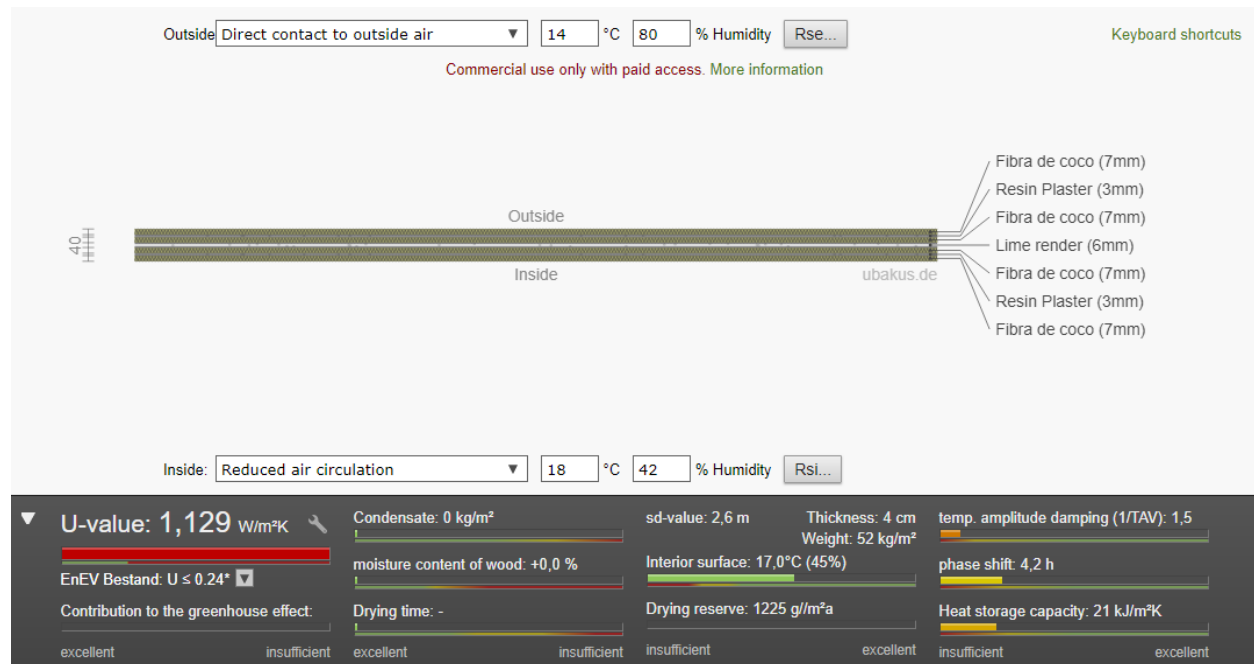
Reservado:

**Figura 30****Simulación muro de mampostería**

Adaptado por L. Coronel 2021 (<https://www.ubakus.com/en/r-value-calculator/index.php>)

Los resultados obtenidos de esta primera simulación establecen que los muros de mampostería no presentan efectividad como aislantes térmicos permitiendo el ingreso del frío exterior hacia el interior de las viviendas, de acuerdo al análisis las propiedades de los ladrillos utilizados en el muro no cumplen con las características de un material aislante, pues para definir un material como aislante térmico su valor U debe ser igual o inferior a 1,5, de igual manera se aprecia que la temperatura al interior de la superficie utilizando las variables climáticas de Bogotá se encuentra en 15,9°C, es decir aproximadamente 6°C por debajo de los estándares establecidos.

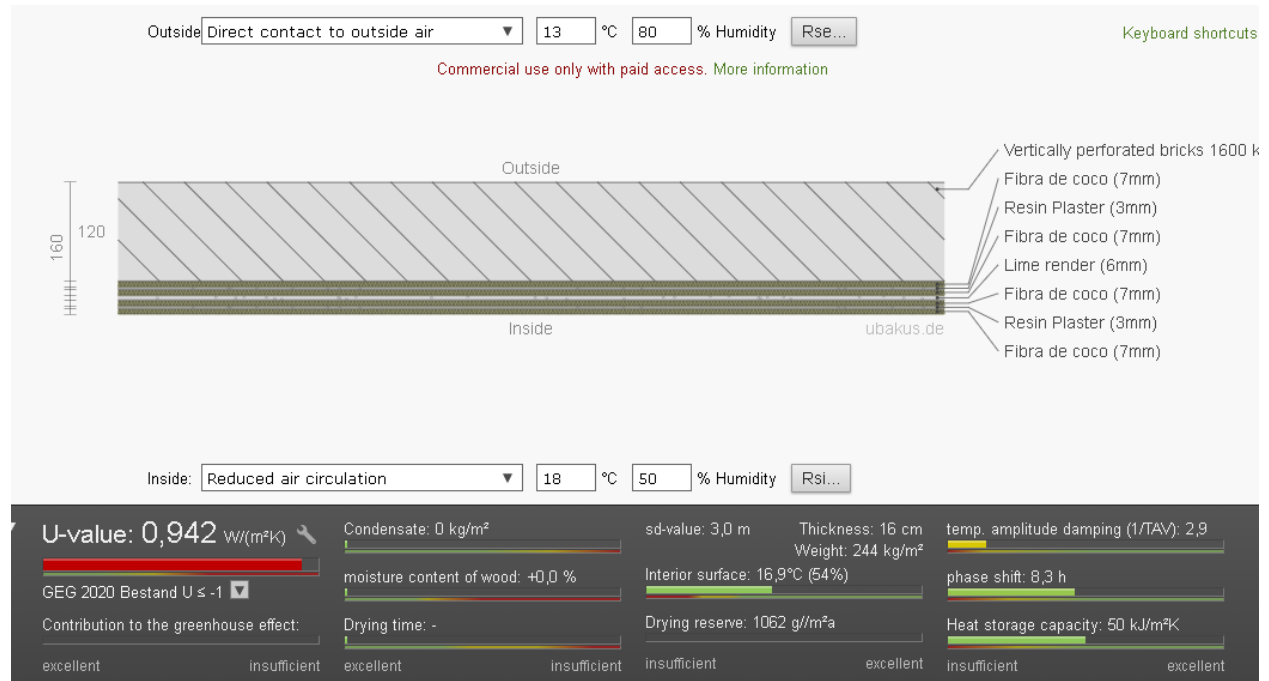
Para la segunda simulación se pone a prueba la calidad del panel respecto a sus propiedades como aislante térmico, se realiza la creación del material en el software para determinar si éste es o no aislante:

**Figura 31****Valor U panel de fibra de coco**

Adaptado por L. Coronel 2021 (<https://www.ubakus.com/en/r-value-calculator/index.php>)

De acuerdo con el software el panel cumple con las características para denominarse como un material aislante, pues su valor U es inferior a 1,5 y evaluando el comportamiento de la temperatura al interior de un espacio en un lugar con las condiciones climáticas de Bogotá se obtiene que con la utilización de estos paneles la temperatura se aproxima más a la requerida por los estándares nacionales e internacionales y superior a la dada por los muros de mampostería, pues se encuentra en 17°C.

Finalmente se procede a evaluar el comportamiento que tendría el muro si se realizara la instalación de los paneles en la parte interior, demostrando así la eficacia que estos tienen para impedir el intercambio de temperaturas entre el interior y el exterior de las viviendas:

**Figura 32****Simulación Valor U muro con panel**

Adaptado por L. Coronel 2021 (<https://www.ubakus.com/en/r-value-calculator/index.php>)

En la imagen se puede apreciar que la instalación del panel de fibra de coco mejoraría considerablemente las condiciones de confort térmico al interior de las viviendas del conjunto residencial Yerbamora, pues la unión de ambos materiales da como resultado un valor U de 0,94 indicando que se poseen altas propiedades aislantes, además de presentar también un aumento en la temperatura interior de las viviendas.

### **7.2.6 Prueba con cámara termográfica**

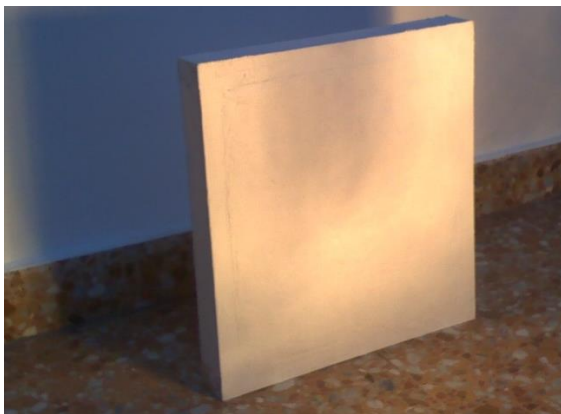
Una vez finalizado el prototipo de panel definitivo y realizadas las simulaciones de su Valor U y efectividad sobre muro de mampostería, este será sometido a una prueba utilizando la cámara termográfica con el fin de evaluar la capacidad del material para transmitir el calor entre superficies, para este ensayo se utiliza una cámara termográfica de referencia FLIR E40; y el panel es expuesto a un bombillo infrarrojo como simulador de fuente de calor.

Para la realización de este ensayo se ubica el bombillo infrarrojo a una distancia de 30 cm del material a evaluar, se establece un tiempo de 30 minutos de espera con el bobillo directamente sobre la superficie, una vez transcurrido el tiempo se procede a tomar las fotografías con la cámara termográfica en ambos lados, con el fin de evaluar la velocidad con la que se calientan las superficies y la facilidad con la que el calor es transferido de un lado a otro.

Para la primera prueba se evalúa el comportamiento de un panel de fibra de coco de 50 un grosor de 2 cm, los resultados se muestran en la siguiente figura:

**Figura 33**

**Panel expuesto a bombillo LED**



Elaboración propia



El panel es expuesto al bombillo LED durante un periodo de 30 minutos, se toma la temperatura de la superficie sometida a la fuente de calor y posteriormente se mide la temperatura de la superficie que no se expuso directamente al calor, esto con el objetivo de identificar si el panel transfiere con facilidad el calor de una superficie a otra.

**Figura 34**

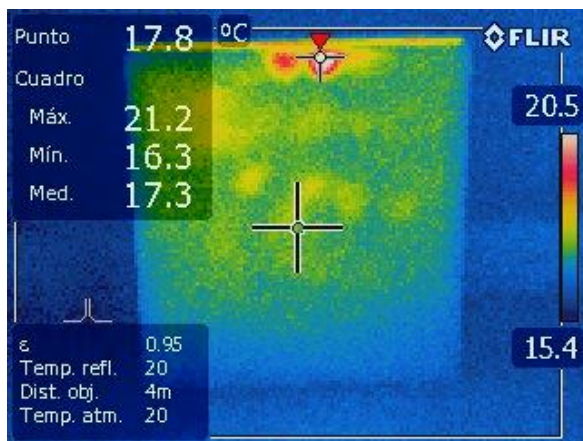
**Temperatura de superficie expuesta al calor**



Elaboración propia

**Figura 35**

**Temperatura de superficie opuesta**



Elaboración propia



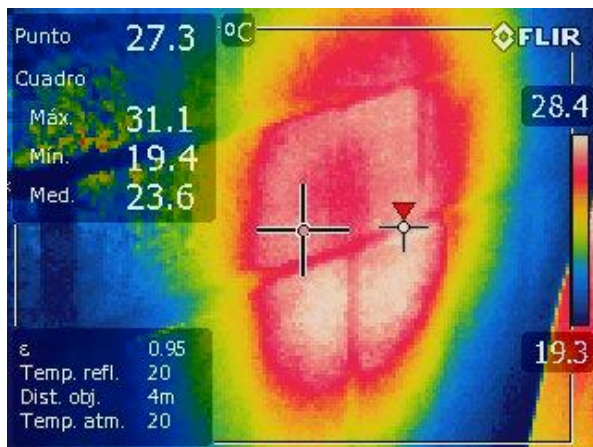
Una vez realizada la prueba con la cámara termográfica se puede afirmar que el panel es un material efectivo como aislante térmico, pues la diferencia de temperatura entre ambas superficies del panel demuestra que no permite el paso de calor con facilidad, la superficie opuesta no llegó a calentarse igual a la cara expuesta a la fuente de calor.

Para realizar una comparación del comportamiento que tiene el panel con respecto a otros materiales aislantes y no aislantes se procede a realizar el mismo procedimiento con un muro en mampostería, un muro de concreto y un aislamiento térmico desarrollado en la Universidad la Gran Colombia a base de canastas de pet.

En la siguiente figura se puede observar un muro de mampostería que fue sometido al igual que el panel a un simulador de fuente de calor durante 30 minutos a una distancia de 30 cm.

**Figura 36**

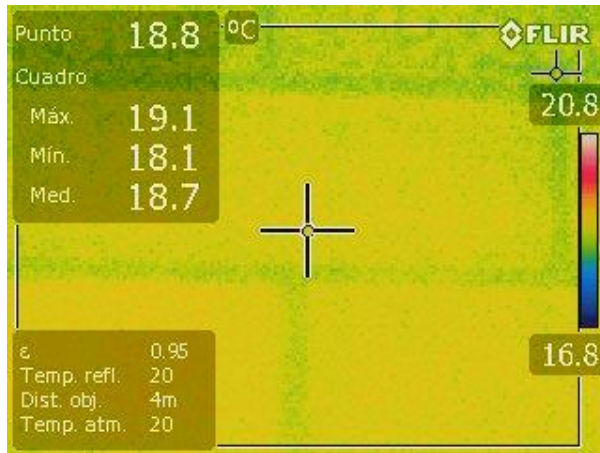
***Muro de mampostería expuesto a bombillo LED***



Elaboración propia

**Figura 37**

**Superficie opuesta de muro de mampostería**



Elaboración propia

**Figura 38**

**Muro de mampostería**



Elaboración propia

**Figura 39**

***Muro de mampostería con fuente de calor***



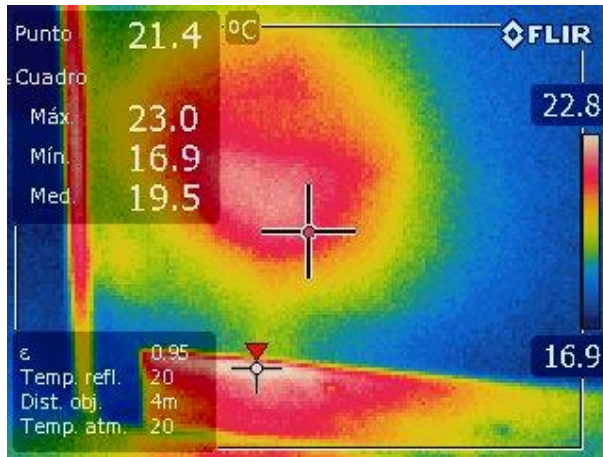
Elaboración propia

Los resultados presentados por el muro de mampostería demuestran que la superficie se calienta con facilidad, alcanza temperaturas superiores a las presentadas por el panel de fibra de coco pese a ser una superficie más gruesa además de más amplia.

Para la siguiente prueba se realizó el mismo procedimiento pro ahora, con un muro de concreto:

**Figura 40**

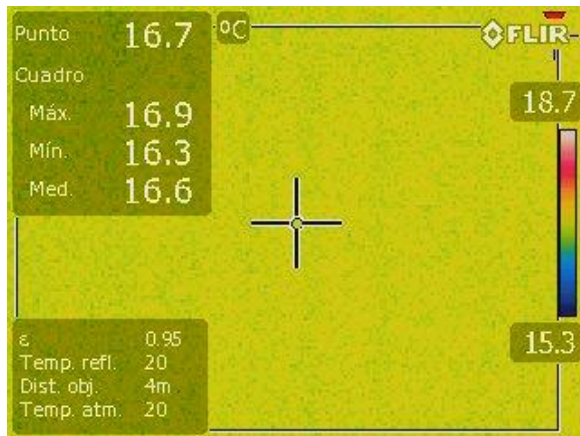
**Muro en concreto expuesto a bombillo LED**



Elaboración propia

**Figura 41**

**Superficie opuesta de muro de concreto**



Elaboración propia

**Figura 42**

***Muro de concreto***



Elaboración propia

**Figura 43**

***Muro de concreto expuesto al calor***



Elaboración propia

Al igual que el muro de mampostería, el muro de concreto presenta un comportamiento desfavorable como aislante térmico, las superficies presentan temperaturas similares a las obtenidas

con el panel aislante de fibra de coco, sin embargo, el muro es 3 veces más grueso que el panel aislante y la superficie es más amplia.

Finalmente se procede a realizar la prueba anteriormente descrita sobre un aislamiento térmico desarrollado en la Universidad La Gran Colombia, constituido a partir de canastas de pet.

**Figura 44**

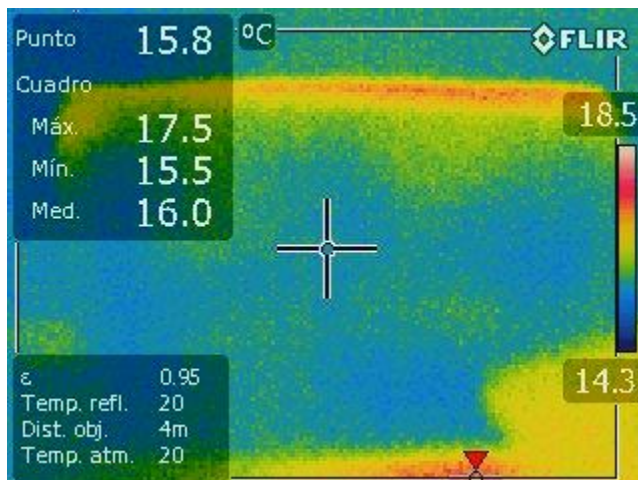
***Aislante térmico con canastas de pet sometido a bombillo LED***



Elaboración propia

**Figura 45**

***Superficie opuesta de aislante térmico con canastas de pet***





Elaboración propia

**Figura 46**

***Aislante térmico con canastas de pet***



Elaboración propia

El aislante se calienta con mayor velocidad que el panel de fibra de coco, aunque la superficie opuesta no llega a calentarse presenta una temperatura superior a la del aislamiento de fibra de coco.

### **7.2.7 Simulación térmica Design Builder**

De acuerdo con los resultados previamente obtenidos respecto a las propiedades del panel aislante de fibra de coco y el caso crítico que se encuentra ubicado en la primera planta de las torres y su fachada se orienta en sentido noroccidental, se procede a realizar simulaciones térmicas utilizando el software Design Builder, la primera se realizó en la etapa anterior, en ella se refleja el comportamiento actual que tiene la vivienda, es decir sin implementar el sistema de paneles aislantes de fibra de coco, para la segunda simulación realizada en esta fase se representarán las condiciones térmicas del apartamento una vez instalados los paneles al interior de los mismos.

Para la realización de las simulaciones se tuvieron en cuenta los siguientes datos:

- **Datos climáticos de Bogotá:** Obtenidos de la estación ubicada en el Aeropuerto Internacional El Dorado.
- **Materialidad de la edificación a simular:** Las materialidades insertadas fueron:
  - Ladrillos de arcilla perforados
  - Muros divisorios en concreto estructural, grosor 12 cm
  - Acabado de piso: Baldosa cerámica y tabletas de madera laminada
  - Ventanas



### 7.3 Etapa 3: Resultados

Una vez finalizada la segunda etapa, se procede a realizar la tabulación de los datos obtenidos previamente para así llegar a desarrollar una ficha técnica del panel aislante.

**Tabla 2**

**Ficha técnica**

FICHA TÉCNICA	
NOMBRE	Panel aislante de fibra de coco
PESO	2,3 kg
LARGO	120 cm
ANCHO	30 cm
GROSOR	4 cm
COLOR	Blanco
PINTURA	Impermeabilizante Corona
ACABADO	Liso
VALOR U	1,1 W (m2.K)
COMPOSICIÓN INTERIOR	56,45% Fibra de coco 29,44% Madera de pino 7,05% Cola blanca 3,52% Cal 3,52% Yeso

Elaboración propia

Además de desarrollar una ficha técnica con la información del panel también se lleva a cabo la elaboración de un análisis de precio unitario (APU), indicando el costo de fabricación por cada unidad de panel.

**Tabla 3***Costo de elaboración*

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
Fibra de coco 150 gr	kg	0,38	\$ 14.900,00	\$ 5.662,00
Cal 10 kg	kg	0,005	\$ 8.250,00	\$ 41,25
Yeso 25 kg	kg	0,0125	\$ 35.900,00	\$ 448,75
Cola blanca 10 Kg	kg	0,04	\$ 61.900,00	\$ 2.476,00
Liston madera de pino 3.2	m	0,3	\$ 20.500,00	\$ 6.150,00
Malla autoadhesiva 150 m	m	0,16	\$ 19.590,00	\$ 3.134,40
Imprimante 1 galón	galón	0,0032	\$ 99.900,00	\$ 319,68
Pintura impermeabilizante 1 galón	galón	0,004	\$ 101.800,00	\$ 407,20
Adhesivo adió clavos	gr	0,04	\$ 19.900,00	\$ 796,00
Instalación		1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Mano de obra		1	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
				\$ 25.935,28

Elaboración propia

Además de la elaboración de una ficha técnica y los costos de elaboración del producto se realiza también una estimación de lo que sería la huella de carbono del desarrollo del panel de fibra de coco, para ello se tuvieron en cuenta los consumos de CO<sub>2</sub> de cada uno de los materiales empleados:

Cal = 0,02 g CO<sub>2</sub>eYeso = 1,9 g CO<sub>2</sub>eFibra de coco = 3,92 g CO<sub>2</sub>eCola blanca = 1,26 g CO<sub>2</sub>eTotal = 7,1 g CO<sub>2</sub>e

#### 7.4 Etapa 4: Sistema de montaje de paneles

Para finalizar el desarrollo del sistema de paneles se plantea una técnica de anclaje adhesivo para el montaje sobre los muros de mampostería, se implementa este tipo de modalidad con el fin de facilitar al usuario su instalación y evitar un aumento significativo en los costos. El adhesivo seleccionado para el montaje del sistema es el de la marca Topex, en su referencia Adiós clavos, desarrollado especialmente para el montaje permanente de objetos sobre superficies lisas y rugosas como lo es el ladrillo.

El proceso de instalación de los paneles consiste en la aplicación del adhesivo sobre la superficie del panel, se aplicará una línea de grosor de 2 mm en los bordes del mismo, el tiempo de secado es de aproximadamente 30 minutos, el método de instalación consta del siguiente paso a paso:

- 1. Limpieza de las superficies:** Como primera instancia se debe garantizar que ambas superficies se encuentran libres de sustancias y partículas que puedan afectar la sujeción del panel sobre el muro al que será adherido.
- 2. Aplicación del adhesivo:** Se sugiere al usuario aplicar el adhesivo sobre ambas superficies de manera que se formen líneas verticales y horizontales sobre los bordes del panel, de un grosor aproximado de 2 mm, de igual forma se recomienda distribuir hacia el centro con una espátula el adhesivo.
- 3. Secado del adhesivo:** Con el fin de asegurar la sujeción del panel se recomienda hacer presión sobre el mismo contra el muro durante un tiempo aproximado de 10 minutos, una vez transcurrido el tiempo, se estima que el adhesivo estará completamente seco en las próximas 24 horas.

#### 7.4.1 Comparación con sistema de Drywall y fibra de vidrio

Con el fin de establecer las ventajas y desventajas entre una oferta de mercado actual y la propuesta desarrollada se realiza una comparación con el sistema de aislamiento de Drywall y fibra de vidrio, determinando así la efectividad y factibilidad del sistema de paneles de fibra de coco, se evalúan las siguientes características por m<sup>2</sup>:

**Tabla 4**

*Drywall + Fibra de vidrio vs Paneles de fibra de coco por m<sup>2</sup>*

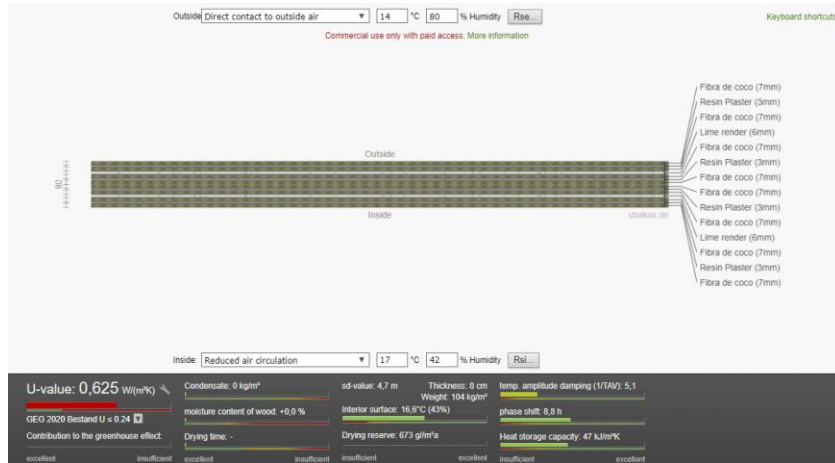
	Drywall + Fibra de vidrio	Paneles aislantes de fibra de coco
Costo por m <sup>2</sup>	\$70.179	\$25.935
Tiempo de instalación por m <sup>2</sup>	1.5 horas	0.5 horas
Huella de carbono por m <sup>2</sup>	14 Kg CO <sub>2</sub> e	7.1 Kg CO <sub>2</sub> e
Valor U	0.64 W/m <sup>2</sup> x K	1.1 W/m <sup>2</sup> x K
Espesor	10 cm	4 cm

Elaboración propia.

De acuerdo con la comparación realizada se puede afirmar que los paneles de fibra de coco presentan resultados superiores en cuanto, a costos, tiempo de instalación y huella de carbono, si bien el valor U es superior al del sistema de Drywall con fibra de vidrio, cabe resaltar que el grosor de los panes es inferior al del sistema mencionado, por lo cual si se aumentara el grosor del sistema de paneles su valor U disminuiría proporcionalmente, lo que permite inferir que la propuesta desarrollada es económica, ambiental y funcionalmente superior a la existente en el mercado actual.

**Figura 47**

Valor U panel de fibra de coco 8 cm



Elaboración propia.

## 8. Conclusiones y Recomendaciones

Como conclusiones de este trabajo se puede afirmar que la Vivienda de Interés Social (VIS) se ve afectada en sus condiciones de habitabilidad, específicamente el confort térmico por la materialidad con la que se desarrollan sus fachadas, sin desconocer los demás aspectos que inciden en el mismo, variables que también tienen una influencia significativa sobre la temperatura y humedad interior de la vivienda.

Los paneles de fibra de coco desarrollados para este proyecto funcionan efectivamente como un sistema de aislamiento térmico por el interior, pues su valor  $U$  ( $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ) cumple con lo establecido para materiales aislantes y tras la realización de simulaciones se demuestra que su implementación en fachadas de mampostería incrementa la temperatura interior de los espacios, de acuerdo con las simulaciones y ensayos, la implementación de este sistema en el caso de estudio conlleva a la consecución de confort térmico al interior de las viviendas, éstas pasan de encontrarse en una temperatura promedio de  $17^\circ\text{C}$  a estar sobre los  $21^\circ\text{C}$  cumpliendo así con la normativa nacional e internacional.

El sistema de aislamiento térmico de paneles de fibra de coco si bien no es más efectivo comparando su valor  $U$  con el de otros sistemas que ofrece el mercado actualmente (debido a su grosor y ligereza), es una alternativa económica y eficiente para cumplir con la función de generar un aislamiento térmico en viviendas cuyas fachadas sean de mampostería, pues en comparativa con sistemas como el Drywall con fibra de vidrio, presenta ventajas ambientales y económicas que lo hacen ideal para su implementación en VIS.

Los paneles de fibra de coco propuestos abren la puerta al desarrollo de proyectos que implementen sus ventajas técnicas y económicas, en diferentes maneras, ya sean constructivas, como paneles divisorios, o tecnológicas, como un sistema SATE (sistema aislante por el exterior).

Como una primera alternativa de continuación a la investigación se podría proponer la utilización de los paneles de fibra de coco como muros divisorios para la construcción de todo tipo de edificaciones, permite innovar en las técnicas constructivas actuales, además de ofrecer ventajas como consecución de confort térmico, reducción de costos, disminución en la huella de carbono, entre otros beneficios.

Una segunda propuesta, una vez comprobada la eficacia que tienen los paneles de fibra de coco en su instalación al interior de las VIS, tanto económica como funcionalmente, se podría desarrollar una propuesta que permita su instalación en la parte exterior de todo tipo de edificaciones, ya sean de uso institucional, comercial, residencial, entre otros.

### Lista de Referencias

ANSI/ASHRAE Standard 55. (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. (2ª ed.).

<http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ASHRAE-55-2010.pdf>

Beltrán-Urbe, N. & Martínez-Chaparro, J. (2017). *Comparación de prototipos de fachadas termo-acústicas fabricadas con fibras vegetales para vivienda unifamiliar, con fachada de tipo estándar de concreto vaciado*. [Trabajo de Grado]. Repositorio Institucional.

<http://hdl.handle.net/10983/15291>

Carvajal, R., Robles, J., Solís, J., Vargas, J., & Marín, N. (2019). Sistema de análisis energético y de temperatura de las ventanas de un aula de clase con y sin aislamiento térmico. *Revista De Iniciación Científica*, (2), 26-30. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.2.2146>

Chan, E., & Craig, E., (2006). Cocos nucifera (coconut). *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, (2.1 ed.). [https://patrickpetit.jalburn.net/\\_AGRICULTURE/LIBRARY/Cocos-coconut.pdf](https://patrickpetit.jalburn.net/_AGRICULTURE/LIBRARY/Cocos-coconut.pdf)

Deaquiz, Y & Moreno, B (2016) Producción y biosíntesis de fibras vegetales una revisión. *Conexión Agropecuaria*, (6), 29-42.

[https://www.researchgate.net/publication/326681264\\_PRODUCION\\_Y\\_BIOSINTESIS\\_DE\\_FIBRAS\\_VEGETALES\\_UNA\\_REVISION](https://www.researchgate.net/publication/326681264_PRODUCION_Y_BIOSINTESIS_DE_FIBRAS_VEGETALES_UNA_REVISION)

García, A., Armiñana, J., (2013). Procedimientos y técnicas pictóricas.

<https://www.um.es/documents/4874468/10241949/u.t.-7.-aglutinantes-pictoricos-y-sustancias-coadyuvantes.pdf/9d5e1cc7-e49d-4286-8959-2ce487a6991d>

Garvía, B (2016) *Fachadas eficientes: sistemas de aislamiento térmico por el exterior (SATE)*. [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10251/71809>



Gonzalez, R (2018, septiembre) Quejas y preocupación en Bogotá por construcción de vivienda

<https://www.lafm.com.co/bogota/quejas-y-preocupacion-en-bogota-por-construccion-de-vivienda>

<https://jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/53/51>

IDEAM. (2018). *LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA*. (2ª

ed.). <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>

ISO 7730 (2006). *Ergonomía del ambiente térmico*. (1ª ed.). [https://kupdf.net/download/norma-une-en-iso-7730\\_58ad6f9b6454a73177b1e977\\_pdf](https://kupdf.net/download/norma-une-en-iso-7730_58ad6f9b6454a73177b1e977_pdf)

Ley 388/97, julio 18, 1997. Diario Oficial. [D.O]: 43091. (Colombia). Obtenido el 17 de noviembre de 2020. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2009). Septiembre 1, 2009. (Colombia).

Definición Vivienda de Interés Social.

[https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/conceptos\\_juridicos/Concepto%20101503%20del%2010%20de%20septiembre%20de%202009%20-%20Definici%C3%B3n%20vivienda%20de%20inter%C3%A9s%20social.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/conceptos_juridicos/Concepto%20101503%20del%2010%20de%20septiembre%20de%202009%20-%20Definici%C3%B3n%20vivienda%20de%20inter%C3%A9s%20social.pdf)

Ministerio de Vivienda Colombia. (2011). *Guía de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social número 1*. [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia\\_asis\\_tec\\_vis\\_1.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_1.pdf)

NTC 5316 (2004). *CONDICIONES AMBIENTALES TÉRMICAS DE INMUEBLES PARA PERSONAS*. (1ª ed.). [https://kupdf.net/download/ntc5316\\_5cd42b7ee2b6f5d3706c4d3d\\_pdf](https://kupdf.net/download/ntc5316_5cd42b7ee2b6f5d3706c4d3d_pdf)

Peña, B (2016) Panel prefabricado a base de fibras naturales. [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25315>

Real Academia Española (RAE) (2020). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido el 10 de octubre de 2020. <https://dle.rae.es/humedad#G3gHYnG>

Vega, J (2016) *Investigación pre-normativa de control térmico en fachadas de edificios multifamiliares tipo VIS en la ciudad de Bogotá D.C.* [Tesis de maestría]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58227>

Vidal, G. & Hormazábal, S. (2016). *LAS FIBRAS VEGETALES Y SUS APLICACIONES Innovación en su generación a partir de la depuración del agua.* Editorial Universidad de Concepción.

<http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/las-fibras-vegetales-y-sus-aplicaciones.pdf>

Villa, K., Echavarría, C., & Blessent, D (2019). Muro de madera aislado con fibra de coco. *DYNA*, (86), 333-337. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.73685>

ISO 10878 (2013). *Ensayos no destructivos - termografía infrarroja – vocabulario.*

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:46265:en>

Barluenga, G (2007). *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.* Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Universidad de Alcalá. [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-04-28\\_04-14-5098256.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-04-28_04-14-5098256.pdf)

## **Anexos**

Anexo 1: Panel

Anexo 2: Planos