

**IMPLEMENTACIÓN DE MATERIALES PARA MEJORAMIENTO DE CONFORT TÉRMICO
EN VIVIENDA RURAL DE CLIMA FRÍO
CASO DE ESTUDIO VEREDA EL GUAMAL (MUNICIPIO DE SUBACHOQUE)**

Daniel Fernando Alarcón Téllez, Nathali Montejo Ortegón



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa de Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2022

**Implementación de materiales para mejoramiento de confort térmico en vivienda rural de
clima frío**

caso de estudio vereda El Guamal (Municipio de Subachoque)

Daniel Fernando Alarcón Téllez, Nathali Montejo Ortegón

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecto

Liliana Patiño León (directora)

Yuber Alberto Nope Bernal (asesor)



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Universidad la Gran Colombia

Arquitectura

Bogotá D.C

2022

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a aquellas personas que hicieron parte del proceso de investigación y formación de este proyecto académico. En primer lugar, agradecer a nuestros padres quienes fueron pilares fundamentales en toda nuestra carrera universitaria, que con su apoyo y dedicación nos impulsaron a seguir adelante sin importar los malos momentos y las situaciones difíciles, en segundo lugar a nuestra directora la arquitecta Liliana Patiño quien con su paciencia y dedicación nos orientó y aconsejó en los momentos apropiados, en tercer lugar a nuestro asesor Yuber Alberto Nope Bernal y tutor Jonathan Ruiz los cuales con su conocimiento enrutaron al proyecto a tener el contenido apropiado y finalmente a nuestros compañeros, colegas y profesores quienes por medio de comentarios constructivos nos ayudaron a encaminar el proyecto de la mejor manera, teniendo como resultado un excelente trabajo académico con el cual damos por terminada nuestra carrera profesional de pregrado.

Finalmente agradecemos a la Universidad La Gran Colombia por ser sede principal y brindarnos las herramientas necesarias para forjar el conocimiento que hoy en día hemos adquirido.

Tabla de contenido

GLOSARIO	11
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	18
CONDICIONES CLIMÁTICAS	19
SALUD EN LOS USUARIOS	21
VIVIENDAS EN ZONAS DE CLIMA FRÍO.....	23
CASO DE ESTUDIO.....	25
OBJETIVOS	28
OBJETIVO GENERAL	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
METODOLOGÍA	29
1. CARACTERIZACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN	29
2. RECOLECCIÓN DE DATOS (DIAGNÓSTICO) Y SIMULACIONES.....	30
3. CONSOLIDACIÓN DE GUÍA DE MEJORAMIENTO DEL CONFORT TÉRMICO.....	32
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO – MARCO CONCEPTUAL.....	34
ANTECEDENTES.....	34
MATERIALES	39
MÉTODOS DE MEDICIÓN.....	42
MÉTODO GRÁFICO	42
MÉTODO ANALÍTICO	44

MÉTODO ADAPTATIVO	44
1. <i>Adaptación Comportamental:</i>	45
2. <i>Adaptación Fisiológica:</i>	45
3. <i>Adaptación Psicológica:</i>	45
NORMATIVA.....	46
<i>ASHRAE standard 55</i>	46
<i>ISO 7730 - Comodidad térmica</i>	47
<i>RITE 2017 - Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones</i>	47
MARCO CONCEPTUAL	48
<i>El confort térmico:</i>	48
<i>Los puentes térmicos:</i>	48
<i>La conductividad térmica:</i>	49
<i>La transmitancia térmica:</i>	49
<i>La inercia térmica:</i>	50
<i>La humedad:</i>	50
<i>La humedad relativa:</i>	51
<i>La humedad absoluta:</i>	51
<i>El punto de rocío:</i>	52
CAPÍTULO 2: ÁREA AFECTACIÓN – CASO BASE.....	53
LOCALIZACIÓN	53
CONDICIONES CLIMÁTICAS	54
ENCUESTA DE PERCEPCIÓN TÉRMICA	58
VIVIENDA ESCOGIDA COMO CASO DE ESTUDIO	60
CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA ESCOGIDA.....	62
INCIDENCIA SOLAR	62
CAPÍTULO 3: SIMULACIÓN CASO BASE	65

PARÁMETROS DE SIMULACIÓN	65
<i>Simulación</i>	65
<i>Localización</i>	65
<i>Actividad</i>	66
<i>Construcción</i>	66
<i>Materiales</i>	66
<i>Perfil del usuario</i>	68
<i>Aportes energéticos</i>	69
<i>Ventilación</i>	71
RESULTADOS	73
CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN MULTIVARIADA	75
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS TÉCNICO Y FINANCIERO	82
CAPÍTULO 6: CONSUMO ENERGÉTICO Y HUELLA DE CARBONO.....	89
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES	91
CAPÍTULO 8: ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE NUEVAS VIVIENDAS	93
ORIENTACIÓN.....	93
DISEÑO	94
VEGETACIÓN	94
LUGAR.....	95
VENTILACIÓN	96
ILUMINACIÓN	96
MATERIALIDAD	97
VOLUMETRÍA.....	98
INFILTRACIONES	98
CONTRAPISOS.....	99
BIBLIOGRAFÍA	101

Lista de Figuras

Figura 1 Rangos por temperatura según departamentos de Colombia.....	20
Figura 2 Viviendas consolidadas en zona de páramo.....	24
Figura 3 Configuración de la vivienda tipo de la vereda.	26
Figura 4 Ruta de metodología.	29
Figura 5 Parámetros de simulación.	31
Figura 6 Rangos aceptables temperatura operativa vs humedad, según ASHRAE 55.	35
Figura 7 Cuadro de materiales de Albedo.	40
Figura 8 Gráfico psicrométrico método PMV.....	43
Figura 9 Gráfico psicrométrico método adaptativo.	45
Figura 10 Representación gráfica del confort térmico.....	48
Figura 11 Representación gráfica del puente térmico.....	49
Figura 12 Representación gráfica de conductividad térmica.....	49
Figura 13 Representación gráfica de transmitancia térmica.	50
Figura 14 Representación gráfica de inercia térmica.....	50
Figura 15 Representación gráfica de humedad.	51
Figura 16 Representación gráfica de la humedad relativa.	51
Figura 17 Representación gráfica de humedad absoluta.	51
Figura 18 Representación gráfica de punto de rocío.	52
Figura 19 Localización geográfica vivienda caso de estudio.	53
Figura 20 Temperatura anual del área de caso de estudio.....	54
Figura 21 Temperatura vs humedad.....	55
Figura 22 Precipitaciones.....	55

Figura 23 Velocidad de viento.	56
Figura 24 Rosa de los vientos.	57
Figura 25 Nubosidad.....	57
Figura 26 Días soleados.....	58
Figura 27 Encuesta de percepción térmica.	59
Figura 28 Resultados de la encuesta de percepción térmica.	60
Figura 29 Fotografía de la vivienda caso de estudio.....	61
Figura 30 Transformaciones de la vivienda en el tiempo.	61
Figura 31 Caracterización de materiales actuales.....	67
Figura 32 Fotografía interiores de la vivienda.	67
Figura 33 Ocupación de la vivienda.....	69
Figura 34 Aporte energético de la vivienda.	71
Figura 35 Ventanas actuales.	72
Figura 36 Resultados de simulación caso base.....	73
Figura 37 Memoria de cantidades.....	86
Figura 38 Consumo energético y emisiones de CO ₂	90
Figura 39 Estrategia orientación de la vivienda.	93
Figura 40 Estrategia de diseño de la vivienda.....	94
Figura 41 Estrategia vegetación de la vivienda.....	95
Figura 42 Estrategia lugar de la vivienda.....	95
Figura 43 Estrategia ventilación de la vivienda.	96
Figura 44 Estrategia vanos de la vivienda.	97
Figura 45 Estrategia materialidad de la vivienda.	97
Figura 46 Estrategia volumetría de la vivienda.	98

Figura 47 Estrategia infiltraciones de la vivienda..... 99

Figura 48 Estrategia contrapiso de la vivienda. 99

Lista de Tablas

Tabla 1 Conductividad térmica de los materiales de construcción	41
Tabla 2 Incidencia solar en fachadas.....	63
Tabla 3 Incidencia solar en el interior.	64
Tabla 4 Ocupación.	68
Tabla 5 Aporte energético.	70
Tabla 6 Aporte energético.	74
Tabla 7 Características térmicas de los materiales implementados.....	75
Tabla 8 Composición de materiales propuestas.....	76
Tabla 9 Combinaciones de elementos constructivos con nomenclatura.	76
Tabla 10 Resultados y combinaciones de las simulaciones multivariadas.....	77
Tabla 11 Resultados de simulaciones multivariadas.	79
Tabla 12 Análisis de precios unitarios (APU) Muro 1.	82
Tabla 13 Análisis de precios unitarios (APU) Muro 2.	83
Tabla 14 Análisis de precios unitarios (APU) Muro 3.	83
Tabla 15 Análisis de precios unitarios (APU) Cubierta 1.....	84
Tabla 16 Análisis de precios unitarios (APU) Cubierta 2.....	84
Tabla 17 Análisis de precios unitarios (APU) Ventanería 1.	85
Tabla 18 Análisis de precios unitarios (APU) Ventanería 2.	85
Tabla 19 Presupuesto simulación 3 y 4.....	86
Tabla 20 Presupuesto simulación 7 y 8.....	87
Tabla 21 Presupuesto simulación 11 y 12.....	88
Tabla 22 Etapas de los materiales.	89

Glosario

Aislamiento térmico: “El aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción.” (“¿Que es el aislamiento térmico?”, s.f., párr. 1)

Conductividad térmica: “Se refiere a la habilidad intrínseca de un material de transferir o conducir calor.” (Thermtest instruments, 2020, párr. 1)

Confort térmico: “El confort térmico es la sensación que expresa la satisfacción de los usuarios de los edificios con el ambiente térmico. Por lo tanto, es subjetivo y depende de diversos factores.” (Blender, 2015a, párr. 1)

Diagrama psicrométrico: “Es una herramienta de la psicrometría que se utiliza para conocer en profundidad las relaciones entre las condiciones de humedad y temperatura del aire interior.” (S&P, 2020, párr. 2)

Energía solar pasiva: “La energía solar pasiva aprovecha directamente la energía directa procedente del sol sin transformarla. Por tanto, no precisan de ningún dispositivo eléctrico para llevar a cabo la transformación de una corriente a otra” (Carrasco, s.f., párr. 9)

Humedad: “agua, vapor de agua o cualquier otro líquido del que está impregnado un cuerpo o el aire.” (Cambridge Dictionary, 2022)

Humedad absoluta: “Es la cantidad de vapor de agua (comúnmente medido en gramos) contenido en un determinado volumen de aire (comúnmente un m³).” (S&P, 2018, párr. 2)

Humedad relativa: “Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura (humedad absoluta de saturación).” (S&P, 2018, párr. 4)

Inercia térmica: “La inercia térmica expresa la capacidad de los cerramientos opacos para absorber y almacenar energía calorífica cuando esta se encuentra disponible, y luego, cuando las condiciones son propicias, liberarla gradualmente.” (Ordóñez, 2021, párr. 1)

PMV (Voto Medio Estimado):

Es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto a una situación dada en una escala de sensación térmica de 7 niveles (frío, fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso, caluroso, muy caluroso), basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano. (Mas, 2015, párr. 7)

PPD (Porcentaje de personas insatisfechas): “Es el porcentaje de dichas personas que consideran la sensación térmica provocada por el entorno como desagradable.” (Más, 2015, párr. 6)

Puente térmico:

Aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento. (Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, 2014, párr. 3)

Punto de rocío: “Es la temperatura a la cual se debe enfriar el aire para que el vapor de agua se condense en rocío o escarcha (“¿Qué es el punto de rocío y cómo medirlo?”, s.f., párr. 1)

Tasa metabólica:

La tasa metabólica mide el gasto energético muscular que experimenta el trabajador cuando desarrolla una tarea. Gran parte de dicha energía es transformada directamente en calor. Aproximadamente sólo el 25% de la energía es aprovechada para realizar el trabajo, el resto se convierte en calor. (Más, 2015, párr. 16)

Temperatura: “Magnitud física que expresa el grado de frío o calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K).” (Real academia española, s.f., párr. 1)

Temperatura radiante: “Intercambio de calor por radiación entre el cuerpo y las superficies que lo rodean.” (Mas, 2015, párr. 22)

Transmitancia térmica: De acuerdo a la norma NCh 853-2007, la transmitancia térmica se define como el “flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento”. (Blender, 2015b, párr. 2).

Resumen

El confort térmico en el interior de la vivienda tiene una gran relevancia en la calidad de vida del usuario (tanto en su comodidad como en su salud), sin embargo, este no siempre es tenido en cuenta a la hora de diseñar y construir un proyecto de esta índole, por tal motivo, este trabajo se centra en estudiar el comportamiento térmico de una vivienda rural en clima frío escogida como caso de estudio, para verificar las condiciones actuales en las cuales se encuentra (orientación, forma, materialidad y condiciones climáticas), de manera que se obtenga un diagnóstico preciso que justifique la implementación de mejoras en los materiales actuales. Para lo cual fue necesario utilizar las simulaciones multivariadas de la vivienda, como estrategia para el diagnóstico y posterior implementación de mejoras. con el fin de mejorar la percepción de frío al interior de la vivienda y poder dar solución a una necesidad relevante actualmente como lo es el confort térmico, que para las personas del sector de páramo se mitiga por medio de adaptación (vestimenta, estufa de carbón, entre otros) al clima frío/húmedo predominante en el sector la mayor parte del año.

Palabras clave: Temperatura, Humedad, Confort térmico, Simulación, Vivienda rural de clima frío.

Abstract

Thermal comfort inside the home is highly relevant for the user's quality of their lives (both in their comfort and in their health), however, this is not always taken into account when designing and building a project. of this nature. This work focuses on studying the thermal behavior of a rural house in cold weather chosen as a case study, to verify the current conditions in which it is located (orientation, shape, materiality and climatic conditions). The objective is to get an accurate diagnosis that justifies the implementation of improvements in the current materials. It was necessary to use multivariate simulations of the house, as a strategy for the diagnosis and subsequent implementation of improvements. in order to improve the perception of cold inside the house and to be able to provide a solution to a currently need such as thermal comfort, which for people in the paramo sector is mitigated by means of adaptation (clothing, stove coal, among others) due to the cold/wet climate prevailing in the sector most of the year.

Keywords: Temperature, Humidity, Thermal comfort, Simulation, Paramo rural dwelling.

Introducción

El confort térmico es un tema relevante en la consolidación de una vivienda en cualquier tipo de clima, este se define como la sensación de bienestar y comodidad de uno o varios individuos dentro de un espacio determinado, generado mediante la combinación de elementos de todo tipo tales como: temperatura, humedad, vestimenta, velocidad del viento y tasa metabólica.

Para comprender el tema se deben tener en cuenta conceptos e información necesarios para la obtención de la misma tales como: materiales, conductividad térmica, inercia térmica, elementos geográficos como la orientación y ubicación, condiciones climáticas como temperatura y humedad, entre otras.

La falta de confort térmico al interior de una vivienda genera ambientes húmedos, alteraciones en la salud, aparición de microclimas al interior de los recintos debido a elementos externos como calefactores y cambio de uso en los espacios interiores, todo esto debido a la falta de orientación, disposición inadecuada de los vanos y el diseño incoherente respecto a las necesidades climáticas del sector.

Debido a esto se plantea mediante un análisis de tipo tecnológico centrado en una de las viviendas ya consolidadas por personas de una región correspondiente a clima frío (Vereda El Guamal (Municipio de Subachoque)), con el fin de proponer mejoras constructivas a los elementos que conforman, permitiendo mediante la adición de materiales con el fin de mejorar el confort térmico en viviendas de autoconstrucción en zonas rurales de clima frío.

Por medio de la visita al sector y la caracterización de la tipología arquitectónica representativa, los materiales, el clima y el usuario de la vereda, se obtiene el diagnóstico de las necesidades del lugar frente al confort térmico, identificando las dinámicas y sensaciones del habitante nativo.

Teniendo en cuenta las necesidades que tiene la vivienda se plantean diferentes combinaciones para la consolidación de cubierta, muros y ventanería, generando 12 simulaciones multivariadas, realizadas en softwares especializados como Design Builder comprobando el aumento respecto la cantidad de horas confort en el año, acompañado de un análisis financiero y estudio ecológico con la huella de carbono y el gasto energético.

Respecto a los resultados arrojados en cada una de las 12 simulaciones se seleccionan 6 de las mejores en donde se evidencia una mejora representativa en horas confort debido a la implementación de materiales tanto captadores en cubierta como aislantes en los muros y ventanería.

Adicionalmente con respecto a resultados y conclusiones obtenidos se generan estrategias de diseño para la consolidación de viviendas nuevas, partiendo desde la etapa de planeación y consolidación de la misma, como lo es la orientación, el diseño de cada uno de los recintos, la forma o volumetría y sobre todo la materialidad con la cual se consolida la vivienda.

Problema y Justificación

El confort térmico hace referencia a la sensación personal de bienestar con respecto a la temperatura y la humedad percibidas dentro de un espacio determinado, a nivel general es la percepción particular del usuario según las condiciones que cada uno presente en los lugares donde permanece, teniendo en cuenta también, la presencia de elementos externos (aire acondicionado o calefacción) que mejoran la calidad de vida y comodidad dentro de los espacios (Fernández et al., 2019).

Con respecto a lo anterior, el confort térmico es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta al momento de la planeación y consolidación de una vivienda, ya que esto trae consigo bienestar físico, mental y social a los habitantes de la misma, no obstante, actualmente las viviendas consolidadas en climas fríos suelen estar relacionadas directamente con el lucro financiero empresarial, o por el contrario construidas con conocimientos empíricos, desconociendo acerca de la utilización técnica de los sistemas constructivos, la orientación y diseños con un programa arquitectónico que responda a las necesidades y dinámicas de una vivienda, presentando así desconfort térmico al interior de las mismas debido a factores relacionados directamente con la ubicación, la orientación y los diseños sin planificación alguna, cumpliendo únicamente con la creación de espacios necesarios para las dinámicas sociales que se presentan al interior de la vivienda, (Wieser et al., 2021) lo cual genera pérdida o ganancia excesiva de energía calórica del interior hacia el exterior cuando las temperaturas descienden o se elevan, lo cual indica la falta de planificación integral de un proyecto.

De tal manera, que se debe tener en cuenta también un aspecto relevante en el desconfort térmico, como lo es el diseño de las viviendas, ya que estos no se adaptan de una manera eficiente, ni responden a las necesidades climáticas del sector, lo cual se podría mejorar por medio del diseño integral y sostenible, brindando la posibilidad de modificar o controlar las temperaturas deseadas al interior de la vivienda sin necesidad de conexión

eléctrica o algún tipo de estrategia bioclimática activa (calentadores, calefacción). Por ejemplo: con el diseño y la planificación de los vanos exteriores (el tamaño, los materiales o la ubicación), se puede obtener un confort térmico interior, permitiendo el ingreso de la energía solar en el día aumentando y manteniendo la temperatura interna, para que de esta manera en horas de la tarde y la noche, la energía recolectada no se pierda rápidamente debido a los puentes térmicos que separan el interior del exterior (Giraldo & Herrera, 2017).

Otro aspecto a tener en cuenta para la existencia del confort térmico en las viviendas es la normativa aplicada, la cual en Colombia es muy escasa y poco implementada, contemplando únicamente la norma RITE y la ISO 7730 del 2006, las cuales hacen referencia a elementos externos para mejorar la calidad del confort térmico al interior, aun cuando estos no solucionan las problemáticas desde su origen sino por el contrario buscan mejorar aquellas condiciones que ya se presentan en los ambientes con el uso de energía eléctrica (estrategias activas), sin contemplar aquellos elementos que se pueden abordar desde la consolidación del proyecto, como: la orientación adecuada, el diseño correcto de los muros, los vanos o la cubierta y los materiales implementados en la construcción, que podrían ayudar a que las condiciones internas sean constantes y benéficas para el usuario sin necesidad de conexión de algún elemento externo a la vivienda.

Condiciones climáticas

Colombia cuenta con una clasificación con respecto a las temperaturas que se presentan en cada una de las regiones del país, siendo cálido una temperatura mayor a 24°C, templado de 18°C a 24°C, frío de 12°C a 18°C, muy frío de 6°C a 12°C, extremadamente frío de 0°C a 6°C y gélido con una temperatura inferior a los 0°C (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2018).

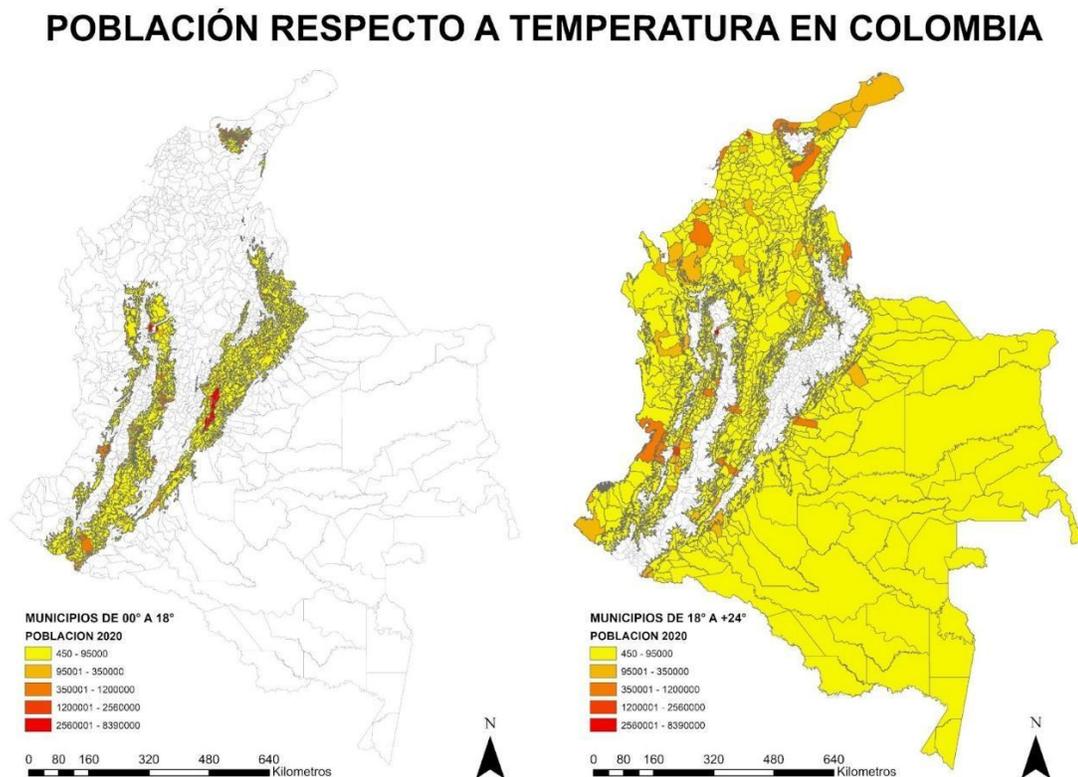
Igualmente, en Colombia se encuentran todos los pisos térmicos gracias al relieve con el que cuenta el país, teniendo lugares desde los 0 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) con

climas cálidos y temperaturas de los 18°C a los 35°C, hasta llegar a los 4000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) con climas gélidos y temperaturas de -0°C, las cuales ayudan a mantener las características representativas de estas zonas debido a las condiciones climáticas diarias (Portilla, 2019).

Según la figura 1 con datos recolectados por el IGAC (2018) la mayor parte del territorio nacional cuenta con un bajo relieve y temperaturas de entre los 18°C a los 24°C, no obstante, en espacios donde se encuentran ubicadas las cordilleras, el relieve es predominante con temperaturas que descienden hasta los -0°C, encontrando variedad de rangos de temperatura a lo largo y ancho del país.

Figura 1

Rangos por temperatura según departamentos de Colombia.



Nota: Representa los rangos de temperatura que tiene cada uno de los departamentos de Colombia según sus pisos térmicos con respecto a la densidad poblacional de cada uno de los municipios. Adaptado de “plano de temperatura” por IGAC. 2018. (<https://geoportail.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>)

Teniendo en cuenta lo interior, la figura 1 obedece a que la población es más densa y abundante en climas fríos (0°C a 18°C) que en climas cálidos (18°C a 24°C +) aunque el territorio abarcado de climas cálidos sea mucho mayor al área de clima frío.

Por consiguiente, se observa que en menor parte del territorio colombiano predominan las temperaturas de los 0°C a los 18°C, representando el 31.32% del área total del país, de igual manera la densidad poblacional de estas zonas es mayor con respecto a las regiones con temperaturas mayores a los 18°C. La población perteneciente a climas fríos es aproximadamente de 42.826.246 representando cerca del 90% de la población total de Colombia, en los cuales se observan tipologías de viviendas con la necesidad de mejorar las condiciones de habitabilidad y confort térmico por falencias en su construcción, estas se encuentran ubicadas en su mayoría en los departamentos con bajas temperaturas como Santander, Cundinamarca y Boyacá, entre otros. (IGAC, 2018). Por lo tanto, este proyecto académico está dirigido a los residentes de clima frío en el país de Colombia por su densidad y necesidades de confort térmico.

Salud en los Usuarios

Uno de los aspectos relevantes que afectan la salud en climas fríos es el confort térmico al interior de las viviendas, este aspecto radica en la calidad de vida del usuario al interior de su lugar de residencia, como lo afirma Medina et al. (2021) debido a las condiciones climáticas que presentan las zonas de páramo, se afecta la recepción de oxígeno en el cuerpo y se alteran las tasas metabólicas, cambiando la percepción de confort térmico en los individuos habitantes del sector.

Asimismo, se puede evidenciar en “Estudios llevados a cabo en el Reino Unido muestran que por cada grado que cae la temperatura debajo de los 18°C (grados centígrados) aumentan las muertes en cerca de 1,5%” (BBC, 2010, párr. 2), siendo las personas de edad

avanzada y con sistemas inmunes deficientes los que tienen un mayor riesgo a contraer algún tipo de enfermedad producida por el clima y las bajas temperaturas.

Esto no solo se refiere a resfriados o gripes comunes, también abarca patologías como: infartos, derrames cerebrales, problemas respiratorios y/o cardiovasculares, causados a raíz de la repentina pérdida de calor que tiene el cuerpo en climas fríos, haciendo que los vasos sanguíneos se contraigan ayudando a la conservación de calor en el cuerpo.

Como lo corrobora la Organización Mundial de la Salud (OMS), las temperaturas extremas con altas o baja temperaturas junto con humedad variable, las dinámicas sociales (rutinas y vestimenta) y las condiciones en las cuales se habita, son causa de: alta mortalidad diaria, ingresos a hospitalización y asistencia a consultorios o servicios de urgencia, presentándose este fenómeno no solo en urbes sino también de poblaciones rurales (zonas que se encuentran en desarrollo). Las bajas temperaturas hacen al organismo susceptible al contagio de un virus o bacterias, afectando directamente al sistema respiratorio, el cual produce una mucosidad más densa y pegajosa como mecanismo de defensa ante patógenos intrusos, como los virus, (BBC, 2010).

De manera que, las personas mayores de 60 años son las más expuestas a contraer enfermedades de tipo cardiovascular por sus características fisiológicas y más aún cuando habitan en climas fríos, ya que los vasos sanguíneos a partir de cierta edad se contraen con facilidad siendo propensos a coagulación de sangre por la falta de confort térmico al interior de la vivienda o recintos donde se permanece, (BBC, 2010), en realidad, la temperatura adecuada para tener un verdadero confort térmico debería ser de entre los 18°C y los 21°C sin necesidad de tener sensación de frío o calor.

Por esta razón como lo expresa la señora E. Camargo en una “comunicación personal” con N. Montejo (20 febrero, 2022), usualmente en el clima frío de páramo las personas suelen relacionar la temperatura con síntomas en su salud, teniendo que ver en su gran mayoría con

dolores en articulaciones, espasmos musculares y enfermedades respiratorias, siendo estas condiciones crónicas que no se alivian con medicamento ya que están expuestos al frío a diario por las actividades ejecutadas al exterior de las viviendas como la agricultura y la ganadería.

Viviendas en zonas de clima frío.

La vereda El Guamal, corregimiento de La Pradera, Municipio de Subachoque, presenta un clima frío húmedo, con temperaturas predominantemente bajas (entre 8° centígrados y los 15° centígrados), y precipitaciones de entre los 100 mm/m² a los 207 mm/m², las cuales frecuentemente son sólidas a lo largo del año, siendo comunes en zonas de páramo. (Pesántes, 2012), generando una carencia de confort térmico al interior de las viviendas consolidadas mediante la autoconstrucción.

Por el contrario como lo menciona García y Beltrán (2017), en Mongua, Boyacá territorio con climas similares, las viviendas antiguas encontradas allí, presentan un mejor confort térmico, evidenciándose por medio de la mejora de la temperatura y la humedad que se presentan en los espacios internos de la vivienda, ya que se encuentran consolidadas con procesos constructivos de tipo vernáculo, como lo son la tapia, el adobe y las cubiertas en teja de barro con una combinación de elementos en madera, lo que las haría más eficientes en cuanto a confort térmico interno se trata por el grosor y las propiedades físicas y térmicas de dichos materiales.

Sin embargo, mediante la observación y la visualización de las viviendas de la Vereda El Guamal, se logra evidenciar un estilo particular en la consolidación de las construcciones, siendo de tipologías compactas y aisladas con pequeños vanos en los muros externos (Pesántes, 2012), en donde el principal objetivo es preservar y retener el calor existente dentro de las viviendas (generado comúnmente por elementos como la estufa de carbón), construidas con materiales comunes como el ladrillo macizo y el bloque de cerámico hueco para muros, y

para cubiertas tejas Eternit o de zinc, los cuales son materiales son de fácil acceso y transporte desde el municipio más cercano que en este caso es Subachoque.

Las viviendas que se encuentran ubicadas en zona de páramo, cuentan con recintos que mantienen temperaturas apropiadas debido a las dinámicas que se presentan en dichos espacios que en su mayoría son áreas comunes, pero por el contrario, en las habitaciones o zonas de uso privado se mantienen bajas temperaturas a lo largo del día y más aún en horas de la noche debido al descenso de la temperatura (“Comunicación personal” E. Camargo y N. Montejo, 20 febrero 2022).

Por lo tanto, a raíz de estos cambios de temperatura se da un cambio de uso de los espacios dentro de la construcción, suprimiendo o transformando muchos de ellos para adaptarse mejor a las condiciones climáticas, utilizando en su mayoría la cocina para cualquier oficio del hogar (planchar, trabajar, comer, etc), concluyendo así, que si es necesario tener en cuenta las características de los materiales de construcción, para poder generar la inercia térmica necesaria que permitan acumular el calor durante el día y de manera eficiente transferirlo en la noche, logrando un confort térmico durante las veinticuatro horas del día en toda la vivienda (Cabrerizo, 2012).

Figura 2

Viviendas consolidadas en zona de páramo.



Nota: Se evidencian los tipos de viviendas que se encuentran consolidadas en las zonas de páramo. Levantamiento arquitectónico realizado el día 20 de marzo del 2022. Elaboración propia.

De esta manera las viviendas que se pueden encontrar en la región estudiada tienen una tipología compacta, y como se observa en la figura 2 se consolidan con materiales

similares, sin embargo, se selecciona una vivienda representativa (tipología lineal) que permita la recolección de datos climáticos y comprobación de mejoramientos constructivos que aumenten determinantes correspondientes a temperatura y humedad, de esta manera tener la aproximación más acertada frente a las condiciones climáticas que se pueden encontrar al interior de la vivienda.

Caso de estudio

A través de la visita a la casa escogida como caso de estudio se logra evidenciar la falta de confort térmico mediante un recorrido a la vivienda representativa de la zona, en donde existen espacios más cálidos como la cocina y la habitación, con diferentes materialidades en cuanto a acabados (cielo raso de madera y pisos en madera), con el fin de mitigar las bajas temperaturas al interior de la misma gracias a las propiedades propias de los materiales de construcción.

Con relación a lo anterior también se evidencian distintos comportamientos por parte de los habitantes de la vivienda, abandonando varios de los espacios de la casa destinados para el descanso y el óseo, convirtiéndose en zonas descuidadas y frías empleadas para el almacenamiento debido a las bajas temperaturas que se experimentan a lo largo del día al interior de dichos espacios, suprimiendo y/o cambiando varios de las dinámicas o actividades realizadas al interior de toda la vivienda.

Cabe destacar que la vivienda fue construida en ese sitio por la cercanía a la carretera y la facilidad que esto conllevaba, sin tener en cuenta estrategias bioclimáticas pasivas que inciden a diario dentro de la vivienda, una de ellas y quizás la más importante es la orientación de fachadas y cubierta, además de un estudio adecuado que determine las condiciones del entorno y de esta manera evitar: obstrucciones solares, exposiciones al viento y malas ubicaciones de los vanos exteriores (Pesántes, 2012), lo cual permitiría mayor captación de radiación solar teniendo en cuenta el clima y la localización de la zona (Cabernizo, 2012).

En la figura 3 se evidencia gráficamente la distribución de cada uno de los espacios encontrados en el interior de la vivienda, contando con cocina, sala, comedor, baño, 2 habitaciones y un patio cubierto, consolidada manera progresiva, según las necesidades que se iban presentando, sin embargo y según “comunicación personal” con Ester Camargo (20 febrero, 2022) la cocina es el espacio en donde se permanece gran parte del día debido a las dinámicas sociales que allí se presentan, es destinado para cocinar, recibir visitas, trabajar, comer, planchar e incluso en ocasiones descansar, a raíz de la presencia de un elemento externo generador de calor en el día como la estufa de carbón, suministrando la energía térmica necesaria para poder gozar de confort, volviéndose uno de los puntos centrales y de más importancia dentro de la vivienda.

Figura 3

Configuración de la vivienda tipo de la vereda.



Nota: Representación de los recintos que se encuentran dentro de la vivienda que se tomará como caso base para la configuración y simulación de la misma. Levantamiento arquitectónico realizado el día 20 de febrero del 2022. Elaboración propia.

Por otra parte, en la visita a la vivienda caso de estudio se puede evidenciar y verificar con las encuestas de percepción térmica realizadas a los habitantes de la casa, que la cocina es el lugar con mayor temperatura en toda la casa, seguida por la sala de estar que se encuentra ubicada contigua a la cocina, por otro lado, las habitaciones, el baño y el patio por el

hecho de estar alejados de la cocina cuentan con temperaturas bajas en el día y aún más en la noche (“Comunicación personal”, E. Camargo y D. Alarcón, 20 febrero 2022).

No obstante, se denota la falta de estrategias bioclimáticas en el diseño de la vivienda, ya que la estufa de carbón ubicada en la cocina, está construida sobre el muro de la fachada sur de la vivienda, haciendo que el calor producido por este elemento externo escape rápidamente por el muro contiguo (exterior), sin tener la posibilidad de emitir la energía calórica producida a lo largo del día de una manera eficiente a los recintos internos de la casa.

Por consiguiente, se busca generar un beneficio para el habitante nativo, por medio del diagnóstico del entorno, determinando diversos materiales que puedan contribuir al confort térmico, contemplando también la orientación, la forma y la rentabilidad económica de la vivienda en su totalidad, teniendo en cuenta factores como el aislamiento y el puente térmico (García & Beltrán, 2017), y de esta manera permitir la retención de la energía térmica en los materiales de las viviendas, realizando un verdadero cambio al interior de cada una de ellas, mejorando las condiciones de habitabilidad del usuario a lo largo de todo el día.

Para finalizar se pretende mejorar la habitabilidad de las personas que residen en la vivienda respecto al confort térmico mediante la consolidación de combinaciones en materialidad, cambiando las condiciones climáticas interiores que se pueden encontrar en las regiones de páramo, teniendo en cuenta también los problemas que se generan a raíz del desconfort térmico, como afectaciones en la salud con las que cuentan estas personas y el desuso que se le ha dado a los recintos, suprimiéndolos debido a las bajas temperaturas que se presentan en su interior.

Objetivos

Objetivo General

Proponer combinaciones constructivas que aporten al mejoramiento del confort térmico mediante el diagnóstico de una vivienda rural, tomando como caso de estudio la Vereda El Guamal (Subachoque), arrojando resultados finales para la creación de una guía de mejoramiento del confort térmico en las viviendas rurales de clima frío.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar la tipología arquitectónica representativa de la región, los materiales, el clima y el usuario, mediante análisis que generen el diagnóstico actual del área de intervención frente al confort térmico.
2. Seleccionar e implementar las mejoras constructivas, por medio de simulaciones multivariadas, aumentando el confort térmico en el caso de estudio a partir de los resultados arrojados.
3. Desarrollar una guía de mejoramiento técnica y financiera, estipulando las estrategias finales para el mejoramiento del confort térmico en las viviendas rurales de clima frío.

Metodología

La metodología del proyecto con estudio de caso se divide en tres principales fases, en las cuales se realizan procesos de conceptualización, simulación y consolidación de la guía de mejoramiento del confort térmico de las viviendas rurales de clima frío.

Figura 4

Ruta de metodología.



Nota: Listado de actividades de acuerdo a los avances del proyecto. Elaboración propia.

1. Caracterización y conceptualización

Se inicia con una caracterización y profundización sobre el tema de interés, el confort térmico en las viviendas y las variables implicadas en el mismo (temperatura y humedad), posterior a esto se inicia la búsqueda de información y conceptos relacionados con el confort térmico (puente térmico, conductividad térmica e inercia térmica) y al mismo tiempo las consecuencias que trae la falta del mismo en la vida y en la salud de los usuarios, teniendo en

cuenta las normativas vigentes nacionales e internacionales y las variables que cada una maneja para su planteamiento.

Posteriormente se realiza un análisis de los posibles sectores a analizar contemplando el clima frío y la facilidad de acceso al lugar, llegando a la decisión de estudiar el sector de Subachoque (municipio de Colombia), enfocados en una vivienda representativa del sector en zona rural como caso de estudio teniendo en cuenta tipología y materialidad, ya que por la localización a más de 3000 m.s.n.m, en condición de páramo, bajas temperaturas y alta humedad son de gran ayuda para la investigación manejando un clima extremo enfrentando casos de la vida real como parte de un ejercicio académico.

Por consiguiente, se lleva a cabo una visita al sector seleccionado y a la vivienda representativa, con el fin de hacer un levantamiento fotográfico y arquitectónico para hacer la revisión de los espacios internos, los materiales y las condiciones actuales en las cuales se encuentra dicha vivienda

2. Recolección de datos (diagnóstico) y simulaciones

Para continuar con la segunda fase de la metodología se hace una encuesta de percepción térmica a los habitantes del sector y una entrevista de ocupación de vivienda (únicamente a los usuarios de la vivienda escogida), con el fin de obtener un diagnóstico actual y poder compararlo con la ASHRAE standard 55, posteriormente también se evalúan las determinantes climatológicas encontrando los datos en un archivo EPW base meteorológica, los cuales relacionan la temperatura y la humedad, generando conclusiones que aporten a la posterior simulación de la vivienda.

Por otro lado, se instalan instrumentos de medición de temperatura (Data Loggers) en recintos que presentan una mayor ocupación como: cocina y habitación de la vivienda escogida, para posteriormente comparar con los datos contenidos en el archivo EPW, adicionalmente apoyándose en el recurso la entrevista realizada a los usuarios de la vivienda

determinando los parámetros de simulación (número de habitantes, perfiles de ocupación, vestimenta, horarios de apertura de ventanas, materiales de construcción, dinámicas al interior, aportes energéticos externos, entre otros) y por medio del modelado de la vivienda en el software Design Builder e insertar los datos del archivo EPW de la zona específica a tratar, obtener conclusiones acertadas sobre el diagnóstico de la vivienda .

Más adelante, con el modelo digitalizado en el software se procede a asignar valores y propiedades a cada una de las áreas creadas (recintos), como por ejemplo, asignación de materiales (conductividad térmica, inercia térmica, densidad, grosor, color, entre otras), vanos encontrados tanto en muro como cubierta, niveles de iluminación, clase de ventilación (cruzada o unilateral calculada por la ley de hellman)), elementos de aporte energético externo (bombillos y aparatos) y los horarios en los cuales se activan e inciden positivamente en el confort térmico de la vivienda.

Figura 5

Parámetros de simulación.



Nota: Parámetros insertados en software para posterior simulación. Elaboración propia.

Posterior a esto se generan gráficas con la información anual del caso base (temperatura ambiente, temperatura operativa y temperatura de superficies) arrojada por la simulación.

La información anteriormente mencionada genera diversas conclusiones, a partir de las cuales, se establecen alternativas para aumentar el confort térmico, mediante la propuesta de mejora de los materiales que conforman los cerramientos (muro, cubierta, ventana), en las cuales se fundamenta el proyecto para hacer 12 simulaciones multivariadas y con las que se busca mejorar la temperatura interior de la vivienda. Dichos materiales serán adicionados a la materialidad actual, manteniendo la identidad de la misma.

En consecuencia, se hace la revisión de materiales aislantes y captadores que se consiguen en el mercado junto con la verificación de las respectivas fichas técnicas y propiedades físicas, formulando las distintas posibles combinaciones para simular entre las tres variables ya mencionadas. Con el ingreso de los diferentes datos al software se extraen los datos de temperatura arrojados, los cuales aportan a las conclusiones con respecto al número de horas de confort que permanece un espacio en un año, tomando como referencia las 24 horas del día.

3. Consolidación de guía de mejoramiento del confort térmico

Cómo tercera y última fase se hace la evaluación técnica y financiera de los materiales implementados en las simulaciones posteriores, obteniendo como resultado la cantidad de horas confort que puede proporcionar la implementación de dichos materiales, poniendo en consideración: el valor U, costos por metro cuadrado, resistencia térmica, conductividad térmica y huella de carbono para elaborar comparativos y balances con respecto a las combinaciones de los materiales.

Finalmente se diagrama, se diseña, se digitaliza y se materializa la guía técnica y financiera para el mejoramiento del confort térmico en las viviendas de clima frío, en dónde se

plasman conceptos, datos generales, el resumen de la investigación, las conclusiones finales (con respecto a los resultados de las simulaciones multivariadas implementando nuevos materiales a la vivienda estudiada) junto con los balances técnicos y financieros y algunas recomendaciones constructivas, todo esto, por medio de ilustraciones didácticas fáciles de entender que atraigan a cualquier usuario que quiera mejorar su vivienda y/o consolidar una nueva con la implementación de los materiales estudiados y de esta manera mejorar las condiciones en las cuales se encuentran actualmente las viviendas localizadas en zonas de clima frío.

Capítulo 1: Marco teórico – Marco conceptual

En el campo de estudio del confort térmico y sus variables, aplicados a diferentes lugares tanto fríos como cálidos, se encuentran documentos tanto nacionales como internacionales que aportan en el conocimiento y punto de partida para el proyecto, con el fin de generar nuevo conocimiento en el campo de la arquitectura bioclimática buscando mejorar la calidad de vida de los habitantes de zonas de páramo en la cuales se presentan muy bajas temperaturas. Entre los diferentes documentos que aportan al proyecto, se encuentran estudios de caso, prototipos, simulaciones, creación de materiales, mediciones en sitio, entre otros. Los cuales aterrizaron el proyecto y le dieron un rumbo definido hasta llegar a la conclusión de la elaboración de simulaciones multivariadas que contribuyan al mejoramiento de los materiales actuales y así mismo aumentar la percepción térmica al interior de las viviendas en climas de alta montaña.

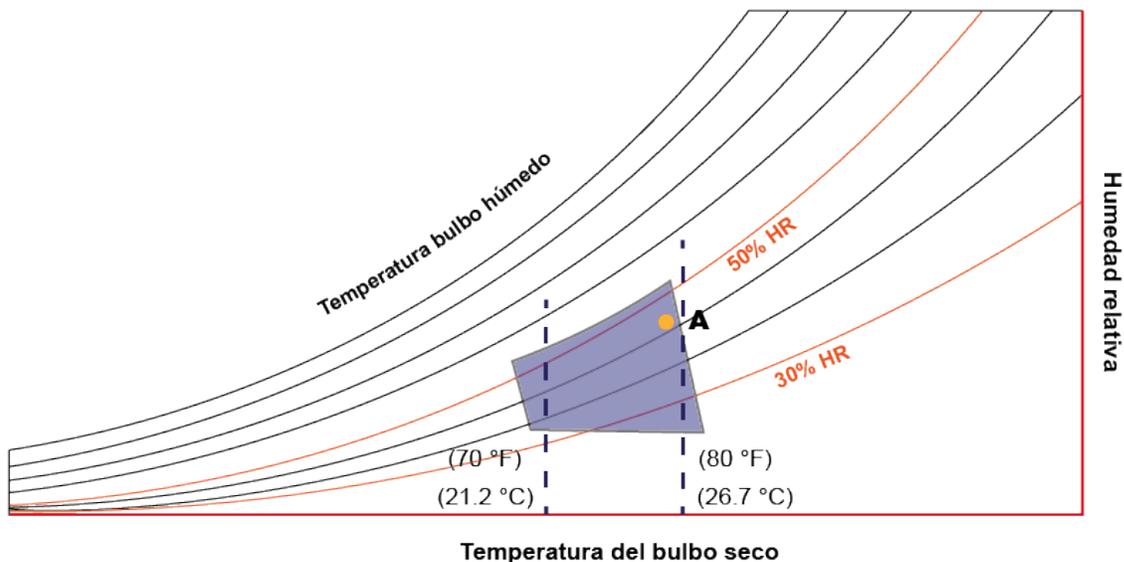
Antecedentes

El confort térmico según la ASHRAE, es una respuesta subjetiva que se define como la satisfacción del individuo con el ambiente en el que se encuentra, el cual se puede abordar desde diversas perspectivas, es decir, desde la parte social, ambiental, proyectual y/o compositiva de una vivienda, que por medio del estudio del ambiente y el contexto, se pueden analizar variables que inciden directamente en ello, como la temperatura, el recorrido del aire y la humedad, que en medidas adecuadas generan que las personas que habitan las viviendas no experimentan sensación de frío ni de calor según las condiciones que se pueden presentar en un sector específico. Dicho estudio arrojará diversas estrategias bioclimáticas tales como el diseño, la forma, la orientación, el aislamiento térmico y los procesos constructivos adecuados para cualquier intervención (Cabernizo, 2012).

Cabe destacar que según la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado [ASHRAE] (2013) y como se observa en la figura 6, la zona de confort debe tener un límite mínimo de 21,2 °C de temperatura ambiente con un 60% de humedad relativa y un límite máximo de 26,7 °C de temperatura ambiente con un 30% de humedad relativa teniendo en cuenta las velocidades del viento menores a 0,22 m/s, de esta manera se busca un espacio adecuado donde habiten las personas nativas de la zona, teniendo condiciones térmicas acertadas, modificando cada uno de los parámetros (temperatura y humedad) para la consolidación de la vivienda.

Figura 6

Rangos aceptables temperatura operativa vs humedad, según ASHRAE 55.



Nota: se muestran los rangos de confort según las determinantes de temperatura y humedad relativa dentro de un espacio determinado. Adaptado de "Uso de la Psicrometría en cálculo de equipos de aire acondicionado" por Escuela de Refrigeración del Perú. (<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>)

Ahora bien, la importancia de evaluar el confort térmico en una edificación radica en la calidad de vida o experiencia que tendrá el usuario en el interior de la misma, y las consecuencias físicas, mentales y sociales que conlleva la carencia de confort, por dicho motivo para evaluar el confort térmico existen diversos métodos de medición según la normativa y los estándares internacionales, la norma ASHRAE de 1894 para la posterior

consolidación del Estándar 55 en 1966, especifica las condiciones ambientales térmicas aceptables para el diseño y operación de una vivienda, donde se incluye el método adaptativo y el método PMV (Voto Medio Estimado) calculando el DDP (Porcentaje de Personas Insatisfechas).

El método PMV toma en cuenta variables tales como: la temperatura al interior de la vivienda, la velocidad del aire, la humedad relativa, la tasa metabólica y el nivel de cobertura de cada uno de los individuos, mientras que el método adaptativo se refiere a la sensación de comodidad de las personas en condiciones fuera de los límites establecidos, debido a la adaptabilidad, en este se toman en cuenta factores tales como: la temperatura al interior de la vivienda, la temperatura al exterior y la velocidad del viento.

No obstante, como lo menciona la Escuela Española Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción (EADIC, 2013), que toma como referencia El Reglamento Español de Instalaciones Térmicas de la Edificación (RITE), la calidad térmica que se presenta en la vivienda está directamente ligada con el diseño de la misma, si este se cumple, se considera o define como confort térmico estando dentro de los valores establecidos, arrojando los parámetros del confort térmico tanto interno como externo sin importar las altas o bajas temperaturas que se experimenten al exterior.

Ahora bien, por la escasa o nula normativa en Colombia con respecto al confort térmico, a menudo en climas fríos las vivienda carecen de diseño por consiguiente, también lo hacen de confort térmico ya que las temperaturas exteriores suelen tener un rango de entre 4°C a los 11°C lo largo del día (Medina et al., 2021) evidenciando la falta de calidad térmica al interior de las viviendas por falta de estrategias de diseño adaptadas a la zona, lo anterior también se relaciona de manera directa con las corrientes de viento que se encuentran en el área, definiendo aspectos como la vestimenta, el tipo de actividades a realizar y las sensaciones que llegan a producirse dentro de las viviendas, ya que el clima frío húmedo se caracteriza por

tener temperaturas bajas la gran parte del año, junto con una baja radiación y precipitaciones sólidas, haciendo que las dinámicas sociales sean propias del clima de páramo (Pesántes, 2012).

Por lo mencionado anteriormente, la arquitectura que se presenta en climas fríos (4°C a los 11°C) debe tener como objetivo principal la conservación del calor al interior de la vivienda, por medio de la implementación de elementos compactos como se veía en épocas anteriores (adobe, tapia, madera), en cambio, hoy en día las características de las viviendas cambian según la región y están directamente relacionadas con las actividades diarias ejercidas por las personas al interior de las mismas, utilizando diversos materiales, tipologías y/o espacios para su consolidación, ligado a la cultura y dinámicas sociales de la región (Saldarriaga, 2014).

Añadido a esto, también se deben tener en cuenta los factores exteriores y que estén fuera de alcance del proyecto como el clima, el contexto y la topografía, determinando de forma acertada los materiales a implementar en una construcción y elementos aptos para la transmisión térmica adecuada, los cuales deben ayudar a mantener la temperatura al interior de la vivienda, ya que dichos elementos arquitectónicos contribuyen a la adaptabilidad, el contacto visual y el contacto auditivo que se generan entre los habitantes de la vivienda (EADIC, 2013), en donde las causas más comunes de falta de confort térmico están relacionadas directamente con problemas de diseño y materialidad (Medina et al., 2021), aunque también depende de la relación entre las variables ambientales externas e internas, igual que los parámetros de diseño que juegan un papel fundamental y alta relevancia, llevando la habitabilidad a niveles adecuados (Pesántes, 2012).

Sin embargo, en el caso de estudio de este proyecto, ni el diseño, ni la materialidad, ni el contexto son tenidas en cuenta para la consolidación de las viviendas, debido a que las características tipológicas del lugar (caso de estudio (Vereda el Guamal, Municipio de Subachoque)) y los materiales implementados dentro de las construcciones (debido a la

facilidad de obtenerlos), no tienen una planificación respecto a lo adecuado y lo funcional para dicho ambiente, generando una vivienda con los espacios necesarios, pero sin el confort térmico idóneo en cada uno de ellos.

En ese orden de ideas, una de las muchas opciones para generar confort térmico en la vivienda, es la incorporación de materiales aislantes y/o captadores dentro de la misma, para esto, se deben tener en cuenta resoluciones como la 0549 del 2015 (parámetros y lineamientos de construcción sostenible) que habla sobre la construcción sustentable con la reducción del consumo de agua y la aplicación de nuevas energías en la construcción (Medina et al., 2021), no obstante esta no cuenta con estándares de confort térmico recomendables para la vivienda y tampoco contempla un diseño integral ni parámetros que permitan el cumplimiento de la norma en la consolidación de un proyecto.

Aun así, en la planeación de una vivienda es importante tener en cuenta el confort térmico, ya que es uno de los factores que determinan la calidad de vida del usuario que allí habite, para esto es primordial obtener diagnósticos y estrategias previas, que permitan por medio del diseño, controlar la permeabilidad de energía calórica que ingresa y sale de la vivienda, tomando decisiones constructivas relacionadas directamente con los materiales que se emplean, como la madera, las láminas de zinc y el ladrillo macizo, los cuales cuentan con una alta inercia térmica por sus dimensiones y propiedades físicas.

Por consiguiente, y mediante la incorporación de estrategias aplicadas en el diseño, la correcta ubicación de las viviendas y la implementación de materiales apropiados tales como: el barro, la arcilla, el adobe, los ladrillos y la piedra (García & Beltrán, 2017), se puede brindar confort térmico al usuario, apoyado por la conductividad térmica de los materiales implementados, haciendo que la dispersión de energía calórica a lo largo del día sea eficiente y suficiente, en donde el interior permanezca en los rangos permitidos de confort térmico la mayor cantidad de horas al día.

Materiales

La materialidad en cualquier construcción tiene un papel importante teniendo en cuenta que la envolvente de la edificación es la encargada de proteger y aislar el exterior del interior, resguardando al usuario de cambios bruscos de temperatura, humedades, fuertes vientos entre otros agentes externos. Por lo tanto, al hacer cambio de cualquier material se deben tener en cuenta las características físicas y propiedades térmicas de cada uno de ellos para que la edificación cumpla con aislar parcial o totalmente del exterior ayudando a liberar o retener el calor según sea la necesidad.

De esta manera se debe considerar la conductividad térmica que tiene cada uno de los materiales implementados, teniendo una clasificación determinada, que según el cuadro de Albedo (Ver figura 7) se divide en 4 secciones diferentes, materiales selectivos fríos, cuerpos negros, materiales reflectivos y materiales selectivos cálidos, que para el caso de este proyecto académico son necesarios únicamente materiales con características captadoras con un factor de resistencia térmica elevado (pizarra, pintura negra, lana roja, entre otros) o materiales de tipo aislante con un factor de resistencia térmica bajo, que por medio de combinaciones entre los dos tipos de materiales se pueda lograr mantener temperaturas de confort al interior de la vivienda.

energía que pasa por la superficie sea menor (se demora en ingresar al recinto pero no se pierde rápidamente).

Tabla 1

Conductividad térmica de los materiales de construcción

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TERMICA	DENSIDAD
Lana de Vidrio	0,041 W/mK	200 Kg/m ³
Mortero de Cemento	0,090 W/mK	1920 Kg/m ³
Madera de Construcción	0,130 W/mK	630 Kg/m ³
Madera de Pino	0,148 W/mK	640 Kg/m ³
Madera Pesada	0,200W/mK	700 Kg/m ³
Tierra con Paja	0,300 W/mK	400 Kg/m ³
Yeso	0,488 W/mK	1440 Kg/m ³
Ladrillos de Arcilla	0,814 W/mK	1800 Kg/m ³
Tierra Muro Portante	0,850 W/mK	2000 Kg/m ³
Vidrio Plano	1,160 W/mK	2490 Kg/m ³
Arcilla	1,279 W/mK	1460 Kg/m ³
Piedra Arenisca	1,300 W/mK	2000 Kg/m ³
Piedra	1,861 W/mK	2250 Kg/m ³
Marmol	2,900 W/mK	2590 Kg/m ³
Acero	50 W/mK	7800 Kg/m ³
Aluminio	160 W/mK	2800 Kg/m ³

Nota: Representación de la conductividad térmica de los materiales además de la densidad de cada uno de ellos, adaptado de. Adaptado de "Características térmicas de los materiales Arquitectura a Eficiente" por Arquitectura Eficiente, 2014, ([https://pedrojherandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/#:~:text=Su%20valor%2C%20que%20depende%20del,\(4187%20J%2FKgK\).](https://pedrojherandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/#:~:text=Su%20valor%2C%20que%20depende%20del,(4187%20J%2FKgK).))

Sin embargo, las viviendas en general hoy en día han evolucionado adaptándose a los nuevos sistemas constructivos y tendencias del mercado, y no para responder a las condiciones climáticas y el confort de los usuarios, consolidándose con materiales contemporáneos como el ladrillo cerámico o el bloque de arcilla cocida (implementados como sistema constructivo en la mampostería) y tejas de fibrocemento o zinc en cubierta, materiales que cuentan con una conductividad térmica alta, es decir, con valores mayores a 1 (debido a su grosor, captan energía pero así mismo la libera en pocas horas) afectando drásticamente la temperatura interior ya que se presenta una baja transferencia de energía afectando el confort térmico de recintos en las viviendas.

Métodos de Medición

Los modelos estadísticos de confort térmico parten de estudios directamente en casos de estudio, tanto mediante el estudio de las variables pertinentes al confort térmico en las viviendas como en edificaciones de gran magnitud, en donde se evalúa periódicamente la comodidad de los habitantes dentro del espacio, estos estudios toman en cuenta diversas variables que determinan el confort térmico tales como: la vestimenta, la temperatura interior, la temperatura exterior y las actividades que los individuos realizan al interior de los espacios para modificar su confort en la vivienda.

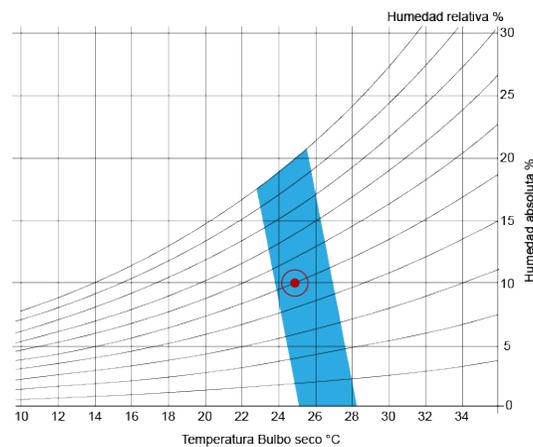
Estos datos ya mencionados son evaluados mediante los métodos implementados por la norma ASHRAE standard 55, como el método gráfico, el método analítico y el método adaptativo los cuales “A partir de estos datos recopilados se desarrollan análisis estadísticos para establecer modelos que expresen la relación entre las sensaciones subjetivas de confort en las personas y las condiciones ambientales de su entorno” (Mas, 2015, párr. 6) obteniendo resultados para determinar los rangos mínimos y máximos respecto al confort térmico.

Método Gráfico

El método gráfico se analiza mediante la evaluación de determinantes tales como temperatura, humedad y velocidad del viento, estos se expresan a través de un gráfico psicrométrico como se observa en la figura 8 en donde se definen los parámetros de confort para temporadas de invierno y de verano, determinando tanto rangos de temperatura como de humedad operativa, estos valores se encuentran en donde la mayoría de personas presentan un confort térmico al interior de la vivienda o edificio.

Figura 8

Gráfico psicrométrico método PMV.



Nota: Representación del diagrama psicrométrico del método PMV relacionando la temperatura con la humedad relativa. Adaptado de “CBE Thermal Comfort Tool” s.f. (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>)

En el diagrama psicrométrico se plasman las determinantes relevantes respecto al confort térmico, tales como la humedad relativa (medida derecha) y la temperatura (medida inferior) a la cual se encuentra el aire de la zona de estudio, generando una zona de confort (área azul) en donde también influyen elementos tales como la velocidad del viento y el tipo de vestimenta que lleva cada individuo, respecto a este gráfico se generan estrategias según la posición que generen dichos datos, de esta manera llegar al rango de confort propuesto por el método.

El método gráfico tiene como elemento principal el Voto Medio Previsto (PMV), el cual arroja el Porcentaje de Personas Insatisfechas (DDP), evaluando las determinantes del entorno que varían como la temperatura interna y externa, la velocidad del aire, la humedad relativa, la tasa metabólica y el nivel de vestimenta.

Estos emiten unos “valores máximos de -0.5 en la escala de sensación térmica (escala de +3 a -3). También, de acuerdo con el mismo modelo de confort” (Mas, 2015, párr. 5). Este método tiene ciertas restricciones tales como: tasas metabólicas de entre 1.0 y 1.3, uso de una vestimenta con niveles de aislamiento aptos para el clima en el que esté el individuo, y una humedad relativa máxima de 0.012. Dejando de ser funcional cuando se encuentra en estas

zonas debido a que se encuentran fuera de los parámetros de evaluación del método, teniendo que recurrir a otros métodos tales como el adaptativo que tiene en cuenta estos valores.

Método Analítico

El método analítico evalúa el confort cuando no es posible evaluarlo mediante el método gráfico, este ofrece una representación del confort térmico más flexible, implementándolo en situaciones en donde se encuentra una humedad relativa superior a los 0.012, y una tasa metabólica de entre 1.0 y 2.0, teniendo un nivel de aislamiento superior al 1.0 clo.

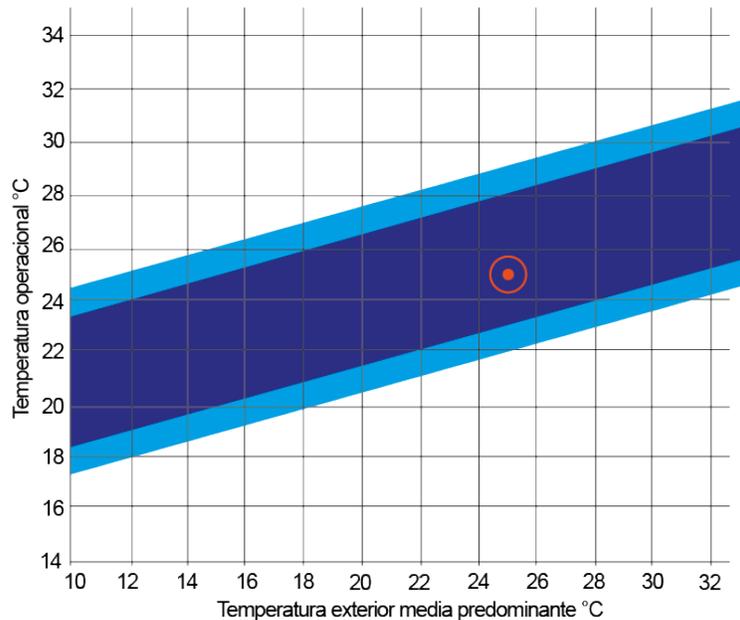
Este se basa de igual manera en el método PMV (Voto Medio Previsto), implementando el uso de herramientas de simulación calculando los estándares de confort, en este se toma en cuenta la temperatura operativa del sector, la velocidad del aire, el nivel de humedad, la tasa metabólica y el nivel de vestimenta del individuo, además de los elementos que estos puedan controlar al interior de las mismas, calculando el PMV y el PPD (Porcentaje de Personas Insatisfechas) al interior de las viviendas o edificaciones estudiadas.

Método Adaptativo

Este método tiene origen en diversas investigaciones realizadas en viviendas y edificaciones reales con respecto al comportamiento de sus ocupantes, según la figura 8, este se implementa en espacios en donde las condiciones internas están estrictamente controladas, puesto que existen acciones que se llevan a cabo para llegar a una condición de confort. De esta manera se encuentran condiciones de confort fuera de los rangos establecidos por métodos gráficos.

Figura 9

Gráfico psicrométrico método adaptativo.



Nota: Representación del diagrama psicrométrico del método adaptativo relacionando la temperatura interior y la temperatura exterior de la vivienda. Tomado de “CBE Thermal Comfort Tool” s.f. (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>)

Dentro del método adaptativo existen 3 clasificaciones según la condición a la que sea expuesta el individuo presentando:

1. Adaptación Comportamental: Son “acciones conscientes o inconscientes que las personas realizan para modificar su balance térmico” (Mas, 2019, párr. 9), por ejemplo, ponerse o quitarse una prenda de vestir, prender o apagar alguna fuente de energía al interior del recinto.

2. Adaptación Fisiológica: Son los “cambios en las respuestas fisiológicas, que resultan de la exposición prolongada a determinadas condiciones ambientales que lleva a una disminución gradual del estrés reducido por dicha exposición” (Mas, 2019, párr. 10). Estos se dan debido a la adaptación al clima, por la exposición prolongada a uno en específico.

3. Adaptación Psicológica: Es “la percepción y la respuesta a la información sensorial recibida, debido a las experiencias pasadas y a la expectativa de las personas” (Mas, 2019,

párr. 11), generada con respecto a espacios en donde el individuo ha permanecido gran parte de la vida, sintiéndose cómodo con un ambiente determinado.

Uno de estos métodos adaptativos es el propuesto por Aluciems el cual es usado para determinar los diferentes rangos de confort, en este se plantea una amplitud de +2.5 o -2.5 grados centígrados con respecto al resultado de temperatura neutro o temperatura confort. Este método se determina mediante dos constantes: $T_n = 17.6 + (\text{Temperatura exterior de bulbo seco} * 0.31)$, obteniendo la variación de temperatura para lograr un confort térmico dentro de una vivienda o edificación.

Normativa

En la actualidad se presentan diferentes normas o estándares tanto nacionales como internacionales enfocadas al confort térmico para la posterior aplicación dentro de todas las construcciones, tanto en edificios de vivienda como en edificaciones de gran magnitud, de igual manera, dichas normas están en constante actualización teniendo en cuenta las necesidades que presente la población.

ASHRAE standard 55

Este estándar tiene como finalidad “establecer las condiciones térmicas aceptables para los ocupantes de los edificios, de acuerdo con el conjunto de factores asociados al ambiente interior”. (ASHRAE, 2017, párr. 1), tomando en cuenta elementos tales como la temperatura, la radiación térmica, la humedad y la velocidad del aire, y se contemplan las condiciones que presentan las personas que habitan o permanecen dentro de la edificación (actividad que realizan y forma de vestir).

El conjunto de estos elementos permite obtener diferentes rangos de confort en los que se encuentran las personas dentro de una edificación según la tasa metabólica o actividad que realicen, buscando un estado mínimo y máximo aceptable para la permanencia del individuo

por un periodo de tiempo mayor a 15 minutos, evaluado desde el método gráfico o el método analítico según las condiciones ambientales del sitio a analizar.

ISO 7730 - Comodidad térmica

Esta norma define el confort térmico como "Ergonomía del ambiente térmico". La cual es una "determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV, PPD y los criterios de bienestar térmico local" (ISO 7730, 2005, p. 5). Esta norma internacional propone utilizar el Voto Medio Estimado (PMV) con respecto al conjunto de diversas actividades realizadas, la vestimenta, la temperatura operativa y la velocidad relativa del aire.

Los valores recomendados para proporcionar un confort térmico al noventa por ciento (90%) de la población en condiciones ambientales de recintos cerrados que desarrollan una actividad física y una vestimenta apropiada son: "una sensación térmica neutral (PMV = 0), una sensación térmica de un poco de frío (PMV de entre 0 y -0.5) y una sensación térmica de un poco de calor (PMV de entre 0 y 0.5)" (ISO 7730, 2005, p. 6), considerándose como aptos para la realización de actividades dentro de un espacio determinado.

RITE 2017 - Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones

Esta norma busca "establecer las pautas mínimas a nivel de confort, eficiencia energética, protección del medio ambiente y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en las edificaciones destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas." (Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración, [RITE], 2017, p. 14), buscando la planeación desde las diferentes etapas del proyecto: el diseño, el dimensionamiento y la ejecución del mismo.

Esta recomienda que las instalaciones térmicas "deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse, de forma que se cumplan las exigencias técnicas de

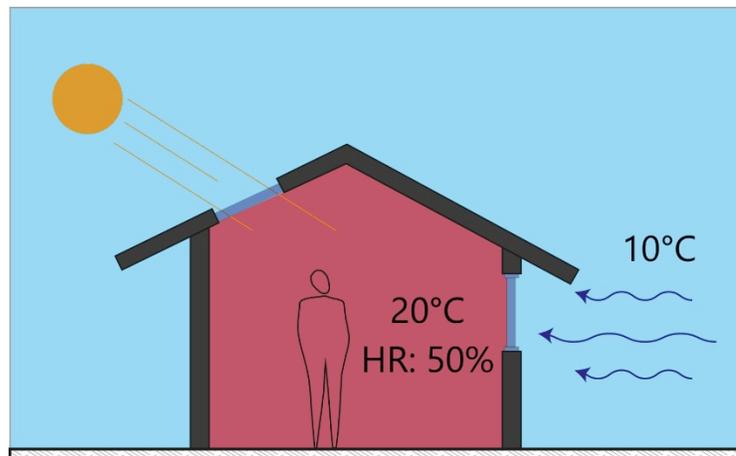
bienestar e higiene, eficiencia energética, protección del medio ambiente y seguridad que establece este reglamento” (RITE, 2017, p. 18), garantizando un espacio con condiciones aptas para la habitabilidad de las personas dentro de un proyecto.

Marco Conceptual

El confort térmico: Es la sensación subjetiva de un usuario con respecto a la satisfacción al encontrarse en un determinado espacio, sin necesidad de elementos externos que contribuyan al mejoramiento de la temperatura o la humedad, ofreciendo bienestar mental, física y social.

Figura 10

Representación gráfica del confort térmico.

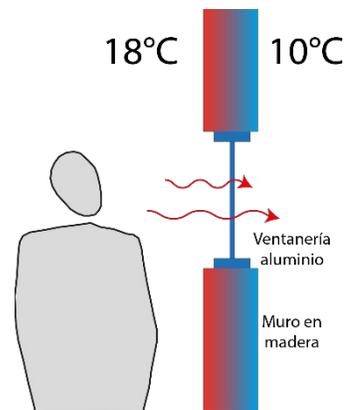


Nota: Representación gráfica del confort térmico. Elaboración propia.

Los puentes térmicos: Son áreas de la edificación en las cuales hay cambio de materialidad y grosor en las fachadas, por lo tanto, existe un intercambio de temperatura a mayor velocidad, permitiendo el escape de energía calórica por diferencias en la temperatura interna y externa.

Figura 11

Representación gráfica del puente térmico.

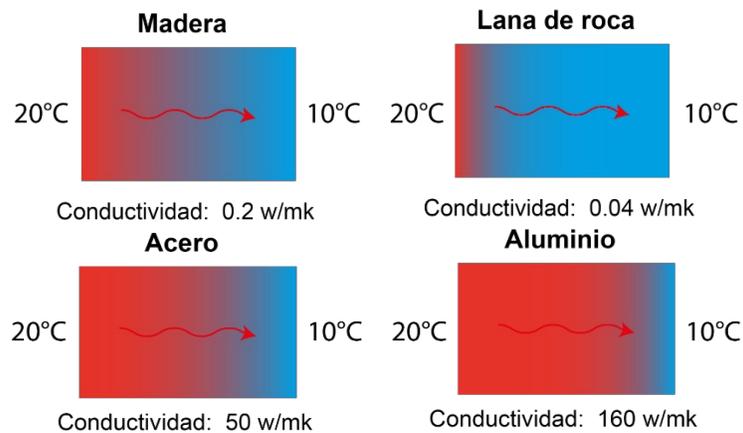


Nota: Representación gráfica del puente térmico. Elaboración propia.

La conductividad térmica: Hace referencia a la velocidad a la cual la energía calorífica se transfiere de un material a otro en x cantidad de tiempo, sin depender del grosor o proporción del mismo. Se mide en vatios / metro kelvin.

Figura 12

Representación gráfica de conductividad térmica.



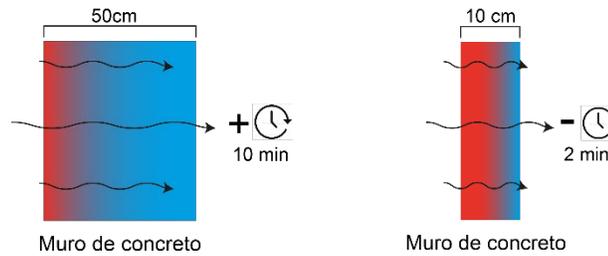
Nota: Representación gráfica de conductividad térmica. Elaboración propia.

La transmitancia térmica: Hace referencia a la velocidad de transferencia de calor contemplando las dos caras del elemento constructivo, teniendo en cuenta variables de los

materiales involucrados (clase, grosor, proporción) y es medido en vatios / metro cuadrado kelvin.

Figura 13

Representación gráfica de transmitancia térmica.

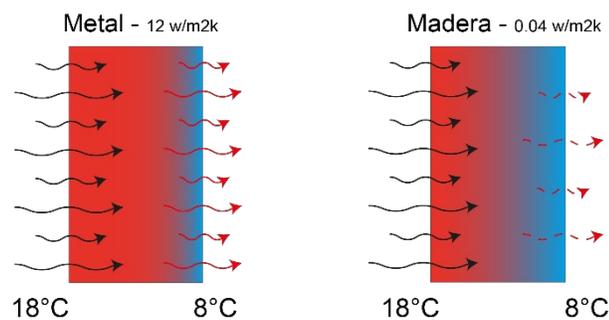


Nota: Representación gráfica de la transmitancia térmica. Elaboración propia.

La inercia térmica: Es la capacidad que tiene un material de absorber y liberar calor en determinada cantidad de tiempo hasta llegar a su temperatura ambiente. En el caso del confort térmico es una estrategia implementada por medio de los materiales de fachada acompañado también de una orientación adecuada para la correcta incidencia solar en horas estratégicas.

Figura 14

Representación gráfica de inercia térmica.

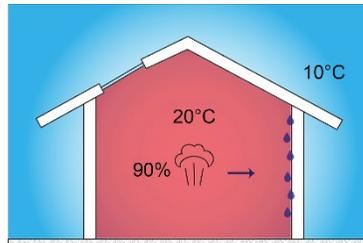


Nota: Representación gráfica de la inercia térmica. Elaboración propia.

La humedad: Es la cantidad de vapor de agua presente en una superficie, en un recinto o en el aire, la cual por condensación pasa a estado líquido en forma de gotas de agua.

Figura 15

Representación gráfica de humedad.

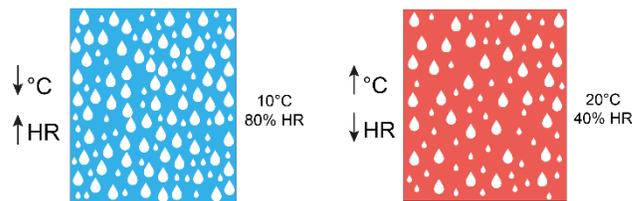


Nota: Representación gráfica de la humedad. Elaboración propia.

La humedad relativa: Es el porcentaje de vapor de agua que se encuentra presente dentro de un área determinada.

Figura 16

Representación gráfica de la humedad relativa.

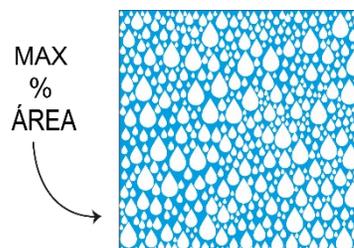


Nota: Representación gráfica de la humedad relativa. Elaboración propia.

La humedad absoluta: Hace referencia a la máxima cantidad de aire que puede estar presente a una temperatura determinada dentro de un área específica.

Figura 17

Representación gráfica de humedad absoluta.

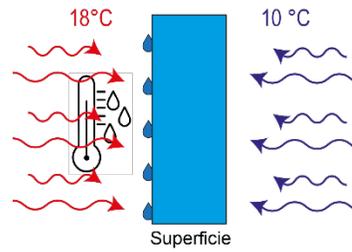


Nota: Representación gráfica de la humedad absoluta. Elaboración propia.

El punto de rocío: Hace referencia a la temperatura que el aire debe alcanzar para que el vapor de agua se condense y cambie de estado a líquido formando pequeñas gotas de agua o escarcha.

Figura 18

Representación gráfica de punto de rocío.



Nota: Representación gráfica del punto de rocío. Elaboración propia.

Capítulo 2: Área afectación – Caso base

Localización

La vereda El Guamal está ubicada en el Departamento de Cundinamarca, municipio de Subachoque, corregimiento de La Pradera, situado a una hora y media de distancia de la ciudad de Bogotá. Se encuentra a 3.200 m.s.n.m dentro del Páramo del Guerrero, esta vereda colinda directamente con el municipio de Pacho (Cundinamarca) y otras veredas como El Boquerón del Oso y Canadá.

Figura 19

Localización geográfica vivienda caso de estudio.



Nota: La imagen georreferenciada corresponde al área de intervención, vivienda caso. Elaboración propia.

Además, debido a que la vereda se encuentra en zona de páramo (superior a los 3000 m.s.n.m) se considera reserva natural, ya que cuenta con varios nacimientos de agua que alimentan al Río Subachoque y al mismo tiempo proveen de agua a municipios cercanos, al

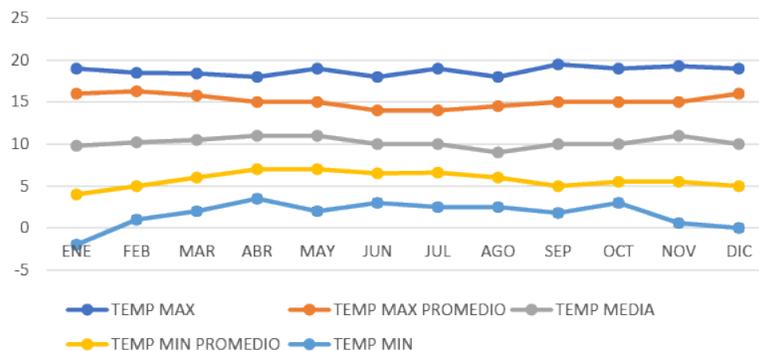
igual que a pobladores del sector, dando múltiples beneficios a las actividades propias de la región como la ganadería y la agricultura.

Condiciones climáticas

El territorio de la Vereda El Guamal (Subachoque) por su gran altura sobre el nivel del mar presenta temperaturas promedio de 10°C en horas del día y de 6°C o menos en las noches como se evidencia en la figura 20, donde en algunas ocasiones la temperatura desciende a -0°C generando heladas en horas de la madrugada, afectando las actividades diarias de dicha región, así mismo, las viviendas del lugar se ven altamente impactadas por el clima particular de páramo (frío/húmedo), siendo la temperatura una de las condiciones más adversas en la zona.

Figura 20

Temperatura anual del área de caso de estudio.

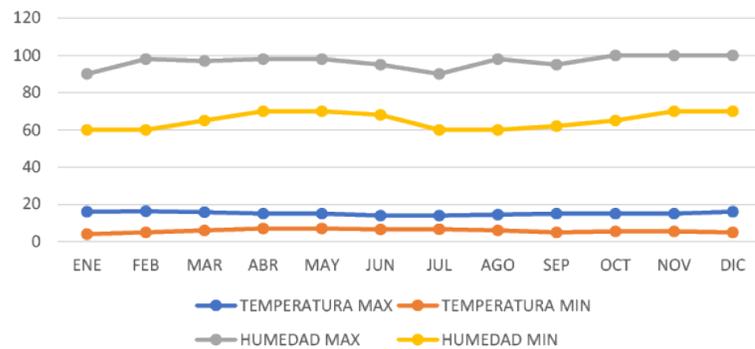


Nota: Representación de los niveles de temperatura que se encuentran en la zona de estudio. Adaptado de "Climate consult" (2002).

Continuando con la variable de la temperatura, se encuentra directamente relacionada con la humedad relativa, que como se evidencia en la figura 21 aumenta cuando las temperaturas descienden y desvanece conforme la temperatura aumenta, presentando una humedad relativa bastante alta, manteniéndose en los rangos del 60% y el 100% la gran parte del año, por dicho motivo la vereda El Guamal es considerado territorio con clima frío/húmedo.

Figura 21

Temperatura vs humedad.

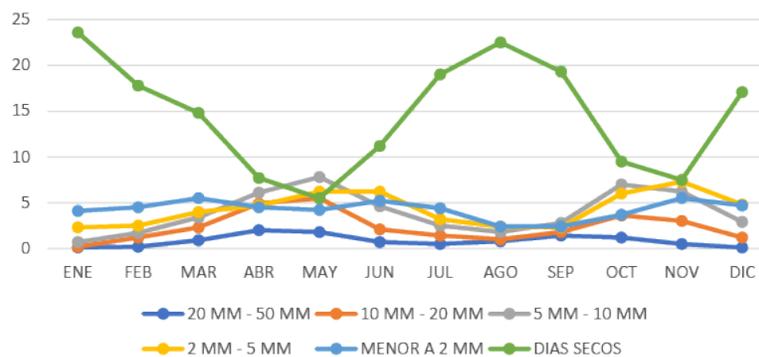


Nota: Representación de los niveles de temperatura vs humedad relativa que se encuentran en la zona caso de estudio. Adaptado de "Climate consult" (2002).

Por otra parte, y como se muestra en la figura 22, otra de las condiciones que encontramos en el sector son las precipitaciones, las cuales se presentan todo el año en diferentes cantidades, por ejemplo, hay meses con mayor cantidad de días secos como enero y agosto, así como meses en los que hay gran cantidad de lluvias en el sector como en los meses de abril y noviembre. Cabe resaltar, que aunque en todos los meses del año llueve, las precipitaciones suelen variar desde los 2mm/m² a los 10mm/m² en su gran mayoría, exceptuando los meses de abril y septiembre en los cuales se registran altas precipitaciones de hasta 100 mm/m².

Figura 22

Precipitaciones.

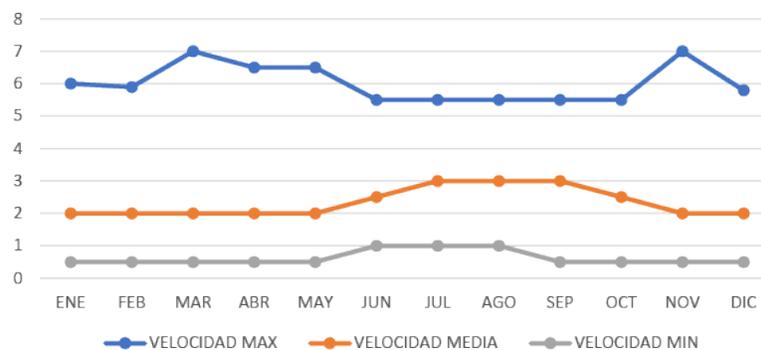


Nota: Representación de los niveles de precipitaciones que se encuentran en la zona caso de estudio. Adaptado de "Climate consult". (2002).

De manera similar, la vereda El Guamal cuenta con una topografía inclinada en donde se pueden encontrar diversas formaciones geológicas o topográficas que favorecen a las viviendas, los pobladores y los animales del sector, trayendo consigo sombras de aire en las cuales se pueden resguardar del viento, que aunque no manejan altas velocidades como se observa en la figura 23, se registra que los meses de marzo y noviembre se presentan velocidades de hasta 7 m/s, en cambio, en los meses de enero a mayo y de septiembre a diciembre, los vientos manejan velocidades de hasta 0,5 m/s, en conclusión la velocidad media del viento en el sector es de 3 m/s.

Figura 23

Velocidad de viento.

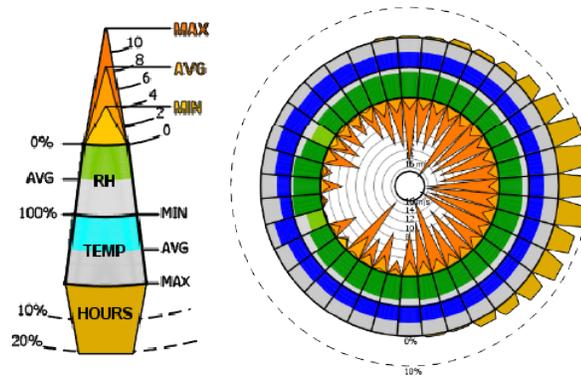


Nota: Representación de la velocidad del viento que se encuentra en la zona caso de estudio. Adaptado de "Climate consult", (2002).

Acorde a lo anterior, otro de los aspectos a tener en cuenta con respecto al viento es la dirección predominante que, como se observa en la figura 24, provienen en mayor proporción del oriente con dirección al occidente con velocidades dentro los 2 m/s a los 10 m/s en aproximadamente el 20% del día.

Figura 24

Rosa de los vientos.

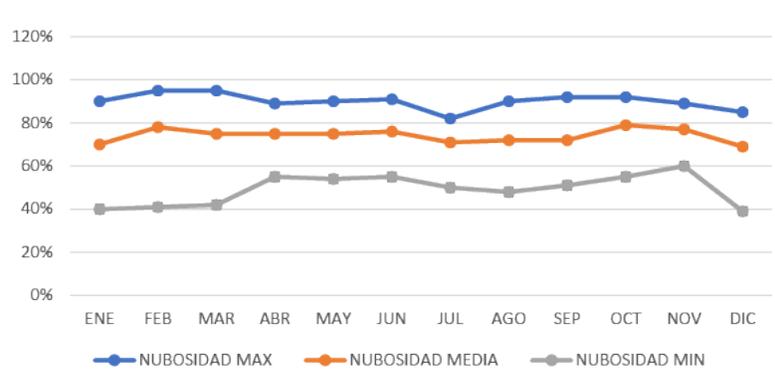


Nota: Representación de la dirección del viento que se encuentra en la zona caso de estudio. Adaptado de Climate consult, (2002).

Adicionalmente a la dirección y la velocidad de los vientos también se encuentra la cantidad de nubes presentes, ya que por las bajas velocidades del viento las mismas permanecen en el lugar y no tienen grandes movimientos a lo largo del día, presentando en el sitio una gran nubosidad con porcentajes de entre el 60% y el 80% todo el año como se observa en la figura 25.

Figura 25

Nubosidad.



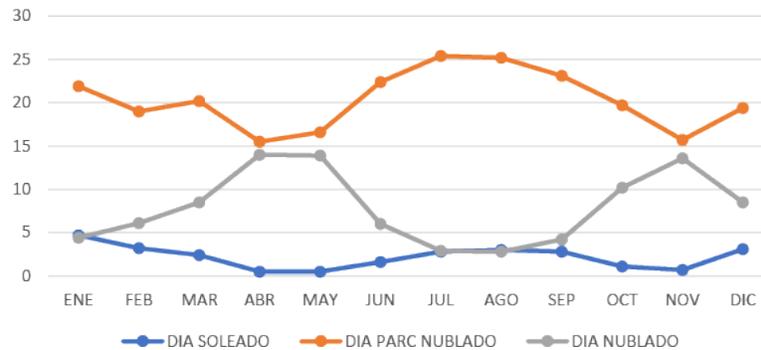
Nota: Representación de los niveles de nubosidad que se encuentran en la zona caso de estudio, Adaptado de Climate consult, (2002).

Ya que gran parte del año el cielo está parcialmente nublado y con altos porcentajes de nubosidad anteriormente mencionados, la incidencia solar directa es muy poca por la presencia

de nubes en toda el área, siendo así, que, en los meses de enero, julio agosto y septiembre es cuando hay mayor cantidad de días soleados, al contrario, en los meses de abril y mayo donde los días soleados son 1 o 2 al mes como se observa en la figura 26.

Figura 26

Días soleados.



Nota: Representación de la cantidad de días soleados que se encuentran en la zona caso de estudio. Adaptado de Climate consult, (2002).

Encuesta de percepción térmica

Para lograr obtener datos acertados sobre la problemática del confort térmico en las viviendas rurales en zona de páramo se realiza una encuesta de percepción térmica a los **habitantes nativos** de la vereda, con el fin de recolectar datos verídicos sobre el tema en cuestión.

En la encuesta realizada (ver figura 27) se formulan preguntas con respecto a las sensaciones al interior de las viviendas, actividades realizadas a lo largo del día, materiales y modificaciones de las viviendas, vestimenta, percepción del frío, afectaciones a la salud, entre otras, obteniendo resultados que confirman la teoría principal de falta de confort en la vivienda de zonas rurales de páramo.

Figura 27

Encuesta de percepción térmica.

ENCUESTA DE PERCEPCIÓN TÉRMICA EN LOS HABITANTES DE LA VEREDA EL GUAMAL, MUNICIPIO DE SUBACHOQUE.

FECHA: _____

NOMBRE: _____

1. Cuantos años lleva habitando en la región

A: 0 a 15 años

B: 15 a 30 años

C: 30 o más años

2. Sabe por qué se escogió este lugar orientación para construir la vivienda.

A: Si

B: No

Porque: _____

3. Sabe quién y con que materiales se construyó la vivienda (muros, ventanas, cubierta)

A: Si

B: No

Cuales: _____

4. La vivienda ha tenido modificaciones debido al clima.

A: Si

B: No

Cuales: _____

5. Cambiaría algún aspecto de la vivienda como materiales o distribución.

A: Si

B: No

Cuales: _____

6. Con que espacios cuenta actualmente su vivienda.

A: Sala

B: Comedor

C: Cocina

D: Baños

E: Habitaciones

F: Lavadero

G: Otros: _____

7. De 1 a 10 siendo 10 muy frío cual es la temperatura que se presenta en el sector la gran parte del año _____

8. Cuál es la sensación que percibe respecto confort térmico en el transcurso del día.

A: Caliente

B: Cálido

C: Ligeramente cálido

D: Neutral

E: Ligeramente Templado

F: Templado

G: Frío

9. ¿Que orientación tienen las ventanas de la vivienda

A: Norte

B: Sur

C: Oriente

D: Occidente

E: No lo se

10. Que prendas de vestir utiliza para mejorar su confort térmico dentro de la vivienda.

A: Calzado: _____

B: Superior: _____

C: Superior: _____

D: Inferior: _____

E: Accesorios: _____

F: Otras: _____

11. Cuál es su nivel de actividad a lo largo del día.

A: Reposo

B: Sentado

C: De Pie Relajado

D: Leve nivel de actividad

E: Mediano nivel de actividad

F: Alto nivel de actividad

12. Siente usted que el frío le ha generado algún malestar en cuanto a su salud?

A: Si

B: No

Cual: _____

13. Considera que existen problemáticas de confort térmico en su vivienda.

A: Si

B: No

Cuales: _____

14. Cambiaría algún espacio dentro de la vivienda, ya sea el uso, materialidad u otro.

A: Si

B: No

Cual: _____

15. Se siente realmente cómodo habitando la vivienda actualmente.

A: Si

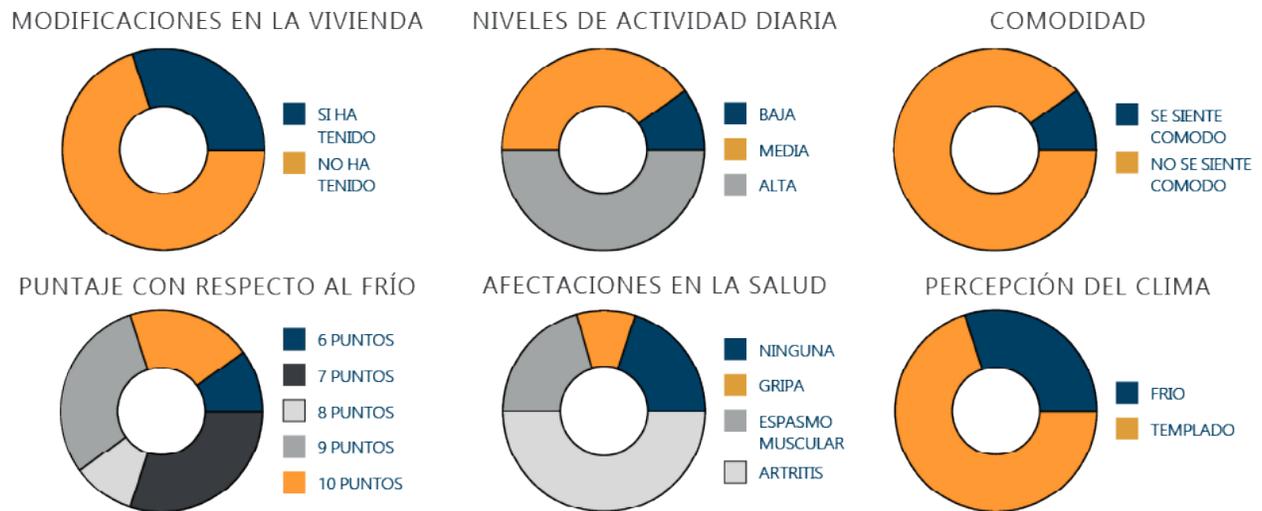
B: No

Nota: Encuesta consolidada para medir la percepción térmica con respecto a los habitantes nativos de la vereda el Guamal. Elaboración Propia

Como consecuencia, las encuestas arrojaron estadísticas fundamentales para el tratamiento del tema, que así como lo evidencia la figura 28, los residentes de la zona y aun siendo nativos, tienen una percepción térmica de frío de 9 o 10 puntos (siendo 1 poco frío y 10 mucho frío), manifestando también que estas bajas temperaturas afectan en gran medida la salud de articulaciones, músculos y huesos por las actividades diarias que se realizan en el exterior y por las bajas temperaturas que se siguen experimentando al interior del lugar de residencia (exceptuando el espacio de la cocina), apoyados igualmente en la materialidad, forma y orientación de las construcciones.

Figura 28

Resultados de la encuesta de percepción térmica.



Nota: Resultados de la encuesta realizada a los habitantes nativos de la vereda El Guamal. Elaboración Propia

Vivienda escogida como caso de estudio

La vivienda escogida se considera representativa de la zona debido a que no ha tenido grandes modificaciones en cuanto a estructura y función se trata, además de encontrar esta tipología en la mayoría de predios localizados en la vereda El Guamal, esta vivienda se ha consolidado de manera progresiva con modificaciones que tiene que ver únicamente con el cerramiento e implementación de nuevos espacios como habitaciones y baño para mejorar las condiciones de confort al interior de la misma.

Sin embargo, dichas transformaciones se han hecho con materiales similares o iguales como lo son el bloque y el ladrillo, utilizados como principal material utilizado, tal como se evidencia en la figura 29, de igual manera se practican procesos constructivos similares con mampostería, manejando contacto directo con el terreno, anclajes rústicos cubierta/muro, entre otras.

Figura 29

Fotografía de la vivienda caso de estudio.

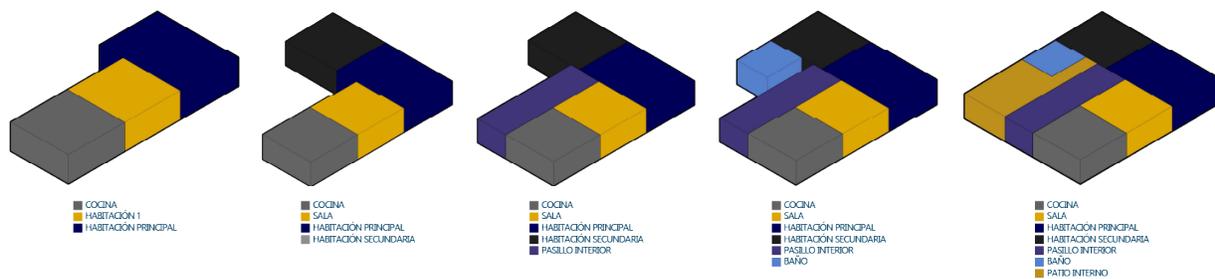


Nota: Fotografías tomadas a la vivienda escogida como caso de estudio. Elaboración propia.

En otras palabras, la vivienda originalmente estaba conformada de forma lineal y de manera compacta, compuesta por 3 espacios esenciales como la cocina y dos habitaciones, que con el pasar del tiempo y los requerimientos de los habitantes, fue necesaria la construcción de otra habitación y un baño, aumentando la comodidad de residir en la misma. Sin embargo, el patio seguía estando descubierto y la temperatura al interior de la vivienda era muy baja, por dicho motivo se tomó la decisión de cerrar y cubrir el patio, consolidando una puerta de acceso principal a la casa, tal como se observa en la figura 30, la cual es una representación volumétrica de la composición y transformación de la casa a través del tiempo.

Figura 30

Transformaciones de la vivienda en el tiempo.



Nota: Modelo volumétrico vivienda progresiva del caso de estudio. Elaboración propia.

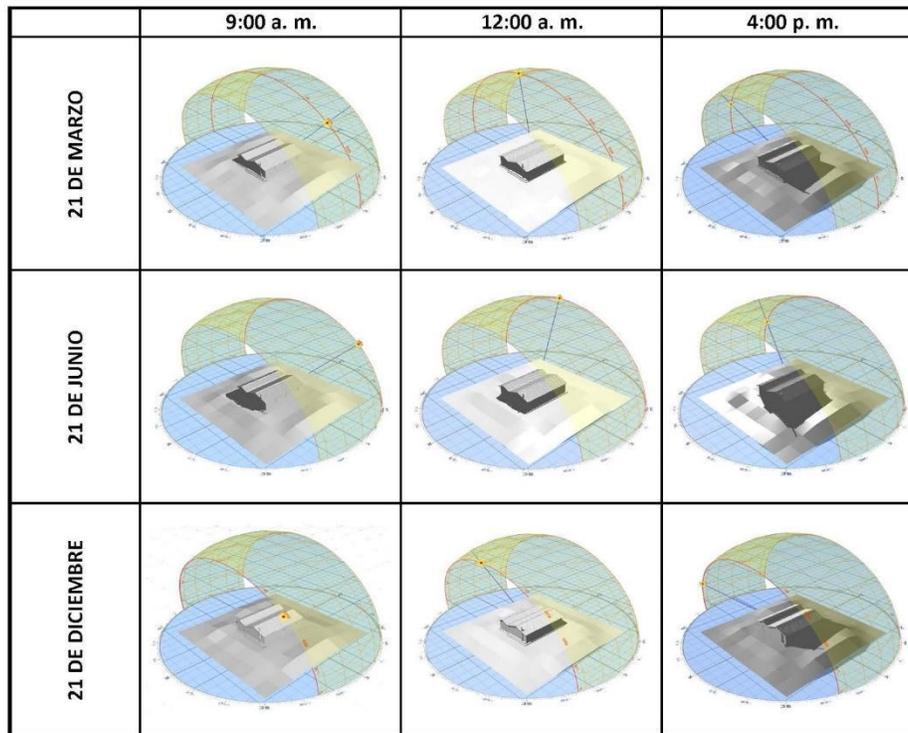
Construcción de la vivienda escogida

La construcción de la vivienda fue realizada por un maestro de la zona que según comunicación personal entre E. Camargo y N. Montejo (20 febrero, 2022), él construía todas las casas que se encuentran por aquí cerca a la mía, con la misma forma de construcción y materiales de la misma calidad” con procesos que cumplieran con la función principal pero que, con el paso del tiempo, la importancia del bienestar y las necesidades climáticas actuales no son totalmente efectivas, ya que se encuentran fallencias en cuanto a las grandes infiltraciones (aberturas entre elementos constructivos), estructuras que no coinciden (adicionadas), distintas materialidades y/o diferentes geometrías adaptándose a las nuevas generaciones.

Incidencia solar

La incidencia solar sobre las fachadas y la cubierta de la vivienda son de principal importancia al tratar el confort térmico en el interior de la misma, puesto que con estos datos se pueden plantear combinaciones de materialidad y diseños que funcionen teniendo en cuenta las condiciones climáticas del sector (incidencia del sol, los vientos, la temperatura, la humedad y las precipitaciones), es decir, construyendo con materiales adecuados y orientando correctamente la vivienda y los espacios interiores para lograr mayor ganancia solar en lugares específicos de la casa.

Por ejemplo, y cómo se evidencia en la tabla 2, la vivienda caso de estudio carece de radiación solar sobre la fachada oriental la segunda parte del día (donde se ubican las habitaciones), ya que solo se presenta alta incidencia del sol en horas de la mañana permitiendo que los muros externos recolecten energía calórica, sin embargo, dicha energía se pierde a lo largo de la tarde y en horas de la noche el material ya no tiene energía suficiente para transferir al interior, sino por el contrario transfiere temperatura captada del exterior que en gran parte del año es muy fría en horas de la noche.

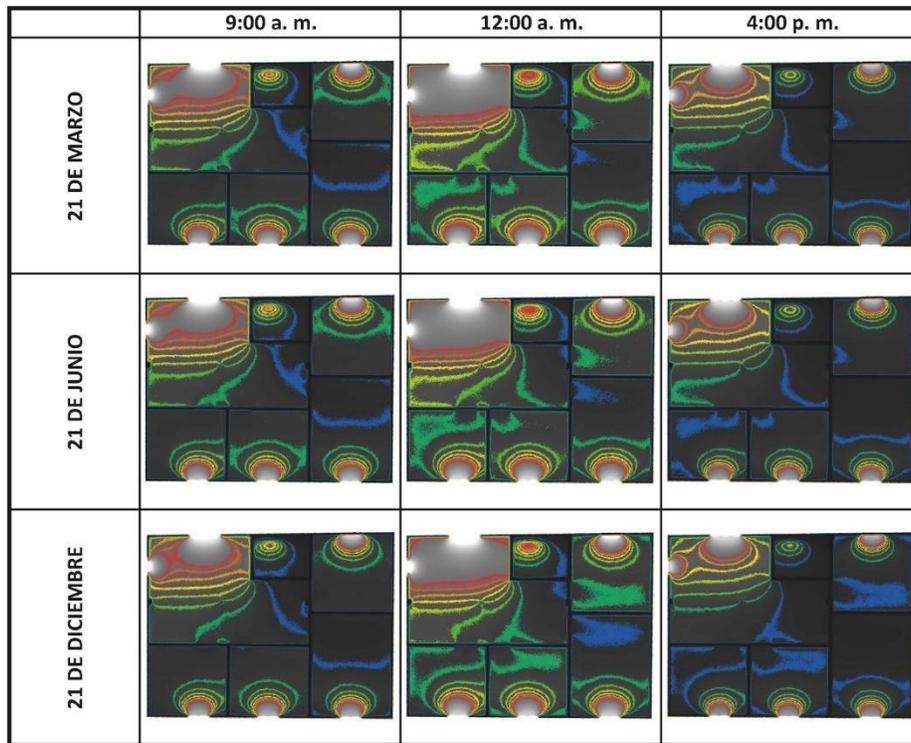
Tabla 2*Incidencia solar en fachadas.*

Nota: Trayectoria e incidencia solar sobre la vivienda caso de estudio. Elaboración propia.

Por otro lado y como se encuentra representado en la tabla 3, así como el sol incide en las fachadas y materiales de los muros externos, también alcanza a ingresar al interior de la vivienda, por ejemplo, los niveles de luz que llegan a afectar la temperatura de la edificación son de máximo 3.500 luxes en los espacios más cercanos a las ventanas, por el contrario, en lugares alejados de los vanos de la fachada (en la parte central de la vivienda), reciben únicamente 5 luxes de incidencia, lo cual es insuficiente para las condiciones climáticas del sector, teniendo en cuenta que las temperaturas son bajas gran parte del año, se necesita una adecuada y suficiente entrada de luz solar en el día que contribuya a aumentar la energía calórica interna que junto con estrategias que permitan recolectar dicha energía el espacio gozará de mayor tiempo de confort térmico al día.

Tabla 3

Incidencia solar en el interior.



Nota: Representación gráfica de la cantidad de Luxes al interior de la vivienda caso de estudio. Elaboración propia.

De esta manera se puede evidenciar una carencia de confort al interior de la vivienda debido a la baja incidencia solar al interior, generando una baja cantidad de horas confort al interior de la misma, esto debido al tamaño y la ubicación de los vanos. Teniendo en cuenta la orientación de cada uno de los recintos que contiene la vivienda, teniendo una gran cantidad de horas de sombra sobre la fachada oriental de la vivienda en donde se ubican las habitaciones y espacios de permanencia.

Capítulo 3: Simulación caso base

Parámetros de simulación

Para la simulación base se toman en cuenta diferentes determinantes que se evalúan por medio del modelado en 3D de la vivienda en el software Design Builder <https://www.designbuilder-lat.com/>, contemplando cada uno de los aspectos relevantes y que inciden en el confort térmico al interior del caso de estudio, tales como la materialidad, el perfil del usuario (dinámicas y comportamientos que tienen los residentes dentro de la vivienda), los aportes energéticos y la ventilación, todos estos evaluados en cada uno de los espacios de la casa.

Simulación

Para generar la simulación en Design Builder se debe realizar una recopilación de todo tipo de datos, de esta manera tener una simulación acertada, entre estos datos se debe tener en cuenta la ubicación geográfica y datos climáticas del sector que se va a estudiar, la actividad que se generará dentro de cada uno de los recintos de la vivienda o edificación, los materiales con la que se encuentra consolidados, las aperturas, y demás elementos externos que puedan generar una ganancia energética al interior de la vivienda

Localización

En este apartado se deben tener en cuenta los datos relevantes de la zona donde se ubica la edificación o vivienda que se estudiará, considerando datos tales como la latitud, la longitud y la elevación que este tiene sobre el nivel del mar, además de cargar un archivo con información climática (EPW) en donde se encuentran datos específicos de temperatura y demás para generar una simulación con datos específicos del lugar.

Actividad

En este apartado se le tiene que generar un perfil al usuario que habita la vivienda identificando el número de personas que permanecen en cada uno de los recintos teniendo en cuenta el área con el que cuenta cada uno de los ocupantes, la actividad que realizan y cómo visten, consolidando un perfil de ocupación semanal para cada recinto que consolida la vivienda.

Así mismo, se tienen en cuenta otro tipo de ganancias energéticas externas como por ejemplo: computadores, electrodomésticos e iluminación, a los cuales también se les genera un perfil indicando los horarios en donde se están encendidos, y de igual manera se realiza con la ventilación natural identificando cada una de las ventanas, creando un perfil en el cual se indiquen los horarios en donde estas permanecen abiertas.

Construcción

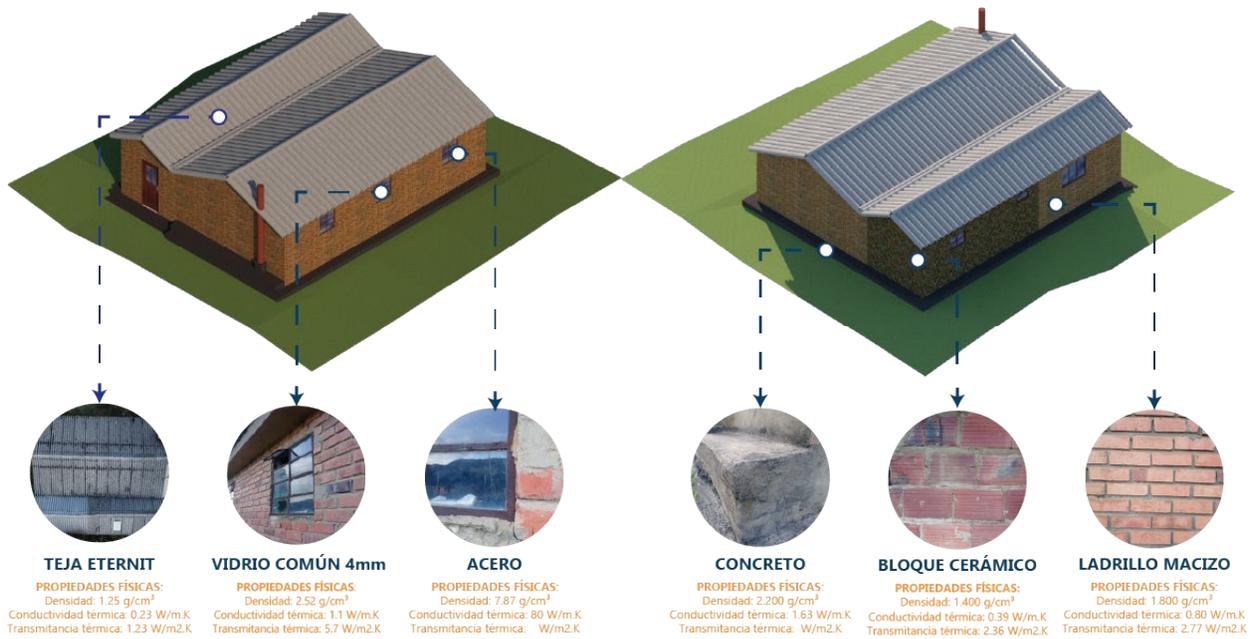
Se debe tener información acerca de cada uno de los elementos que conforman la edificación y vivienda, además de datos relacionados con propiedades térmicas de cada uno de los materiales tales como: espesor, densidad, conductividad térmica e inercia térmica, esto tanto en cubierta, como muros y ventanearía.

Materiales

La vivienda caso de estudio actualmente se encuentra conformada por materiales convencionales y de fácil acceso como se observa en la figura 31, dichos materiales son el ladrillo macizo, el bloque cerámico hueco, la teja Eternit, el acero, el vidrio común 4mm y el concreto, que teniendo en cuenta las propiedades físicas y térmicas de cada uno de estos (la densidad, la conductividad térmica y la inercia térmica) no son suficientes ni adecuados para el clima en el que se encuentran aplicados debido a su factor de resistencia térmica.

Figura 31

Caracterización de materiales actuales.



Nota: Materiales y descripción de propiedades físicas de la vivienda. Elaboración propia.

Además de esto, los acabados que tienen cada uno de los espacios interiores (ver figura 32), son diferentes dependiendo la época de construcción, cambiando de materialidad en cielos rasos, pisos, enchapes de muros, puertas, entre otros, teniendo diferentes valores U (W/m²*K) en cada una de las habitaciones.

Figura 32

Fotografía interiores de la vivienda.



Nota: Fotografías tomadas del interior en el área de intervención. Elaboración propia.

Perfil del usuario

Para la consolidación del perfil del usuario se realiza una entrevista enfocada en los habitantes de la vivienda, en donde se conversa sobre los horarios y la ocupación a lo largo del día en cada uno de los espacios, generando el perfil de los residentes, determinando la cantidad de personas que permanecen la vivienda y la cantidad de horas que ocupan cada uno de los recintos que se pueden encontrar dentro de la vivienda, en este caso: la cocina, la sala, la habitación 1, la habitación 2, el baño y el patio cubierto.

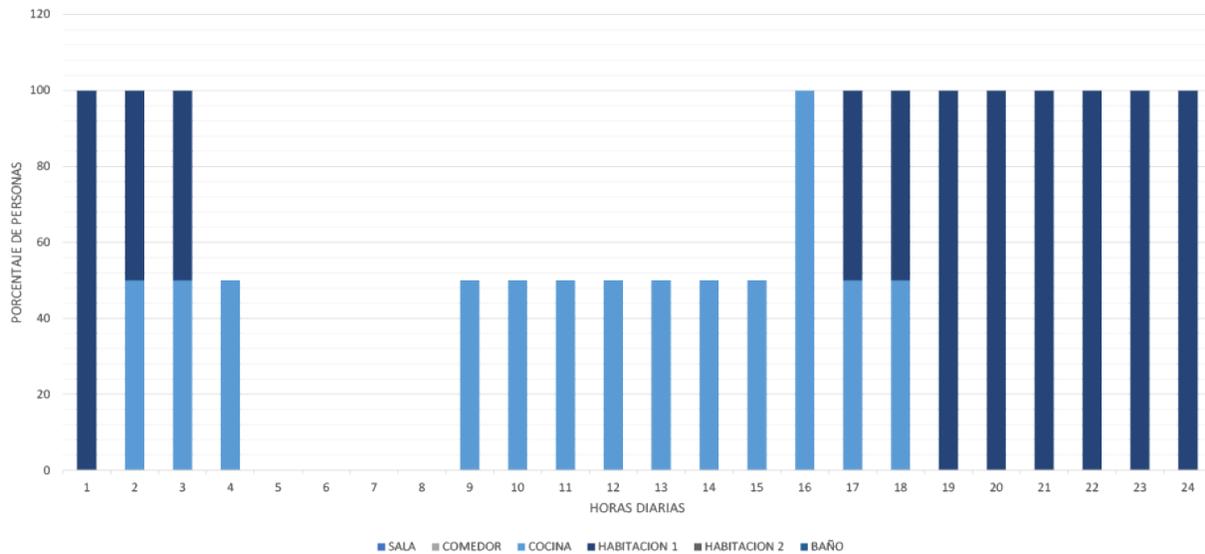
Tabla 4

Ocupación.

OCUPACIÓN DEL USUARIO																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SALA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COMEDOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COCINA	0	50	50	50	0	0	0	0	50	50	50	50	50	50	50	100	50	50	0	0	0	0	0	0
HABITACION 1	100	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	100	100	100	100	100	100
HABITACION 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAÑO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Tabla de porcentaje de ocupación por recinto en la vivienda caso de estudio. Elaboración propia.

Según la tabla 4 la vivienda se encuentra ocupada por dos personas, a las cuales se les dio la caracterización de pareja mayor retirada, por sus edades y ocupaciones, en donde ambos trabajan gran parte del día en labores de la vivienda y actividades de ganadería (llevadas a cabo por el hombre fuera de la vivienda), mientras que la mujer perdura gran parte del día dentro de la vivienda, permaneciendo en la cocina (ocupación del 50%) la mayor parte del día realizando todo tipo de actividades.

Figura 33*Ocupación de la vivienda.*

Nota: Gráfica de ocupación por recinto según el porcentaje con los habitantes de la vivienda. Elaboración propia.

En general y como se observa en la figura 33 la actividad de la vivienda empieza en horas de la madrugada alrededor de las 2 am, cambiando la ocupación de la habitación a la cocina, en donde se permanecerá la mayor parte del día, también de 3 am a 8 am la vivienda permanece sola, hasta cuando la esposa llega de realizar actividades de ordeño en la vereda, luego de esto se adelantan tareas de alimentación, aseo, visitas, entre otras, hasta las 4 pm aproximadamente. Esto hasta que llega la noche, en donde hay actividad en la habitación, la cual se usa para el descanso y el reposo desde las 7 pm a 2 am del otro día, sin ocupar ningún otro recinto a lo largo del día.

Aportes energéticos

Para considerar aportes energéticos externos a la vivienda se tiene el apoyo de la encuesta a los usuarios de la vivienda, en esta, se tienen en cuenta aquellos elementos electrónicos que pueden aportar de una manera positiva a la vivienda con respecto al confort

térmico como lo son: televisores, equipos de sonido, bombillos u otros electrodomésticos que estén dentro de la vivienda.

Tabla 5

Aporte energético.

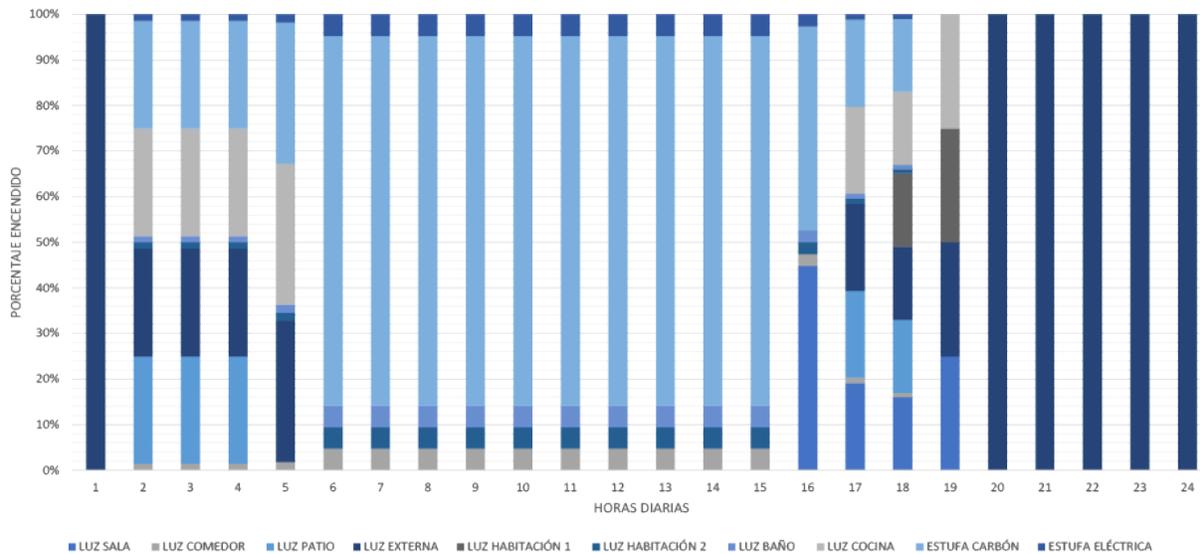
TABLA DE APOORTE ENERGÉTICO EXTERNO																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
LUZ SALA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	0	0
LUZ COMEDOR	0	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	0	0	0	0	0	0
LUZ PATIO	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
LUZ EXTERNA	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
LUZ HABITACIÓN 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0
LUZ HABITACIÓN 2	0	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	0	0	0	0	0
LUZ BAÑO	0	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	0	0	0	0	0
LUZ COCINA	0	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	0
ESTUFA CARBÓN	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0
ESTUFA ELÉCTRICA	0	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	0	0	0	0	0

Nota: Tabla de porcentaje de aporte energético por recinto en la vivienda caso de estudio. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, la vivienda no cuenta con algún tipo de electrodoméstico que proporciona energía extra a la vivienda por un tiempo relevante, la única y principal fuente de energía presente a lo largo del día es la estufa de carbón, la cual está encendida desde las 2 am hasta alrededor de las 7pm (cuando pierde intensidad), además de esto, solo dos bombillos se prenden con mayor frecuencia en el día los cuales están ubicados en la cocina y la habitación 1, siendo encendidos en las horas de la madrugada y la noche, horas en las cuales, la habitación tiene ocupación del 100% con actividades de descanso.

Figura 34

Aporte energético de la vivienda.



Nota: Gráfica de aporte energético por recinto. Elaboración propia.

De este modo y como se puede apreciar en la figura 34, la vivienda cuenta con un único elemento externo que genera energía calórica gran parte del día, mientras que los otros artículos dentro de la vivienda se usan de manera ocasional, teniendo un bajo aporte energético en la vivienda que puedan representar algún tipo de contribución con respecto al confort térmico al interior de la vivienda.

Ventilación

La vivienda cuenta con un total de 6 ventanas, cada una de ellas ubicada en un recinto diferente, con medidas similares a excepción de la que se encuentra ubicada en el baño y el patio las cuales varía el tamaño y no poseen ningún tipo de apertura, por el contrario, las que se ubican en la cocina y las habitaciones cuentan con un basculante superior que permite la ventilación al interior de estos espacios.

Figura 35

Ventanas actuales.



Nota: Fotografías tomadas de la ventanería en el área de intervención. Elaboración propia.

Dichas ventanas de los espacios mencionados tienen unas dimensiones de 80 cm x 79 cm con un área total de 0.63 metros cuadrados, en las cuales el marco de acero divide la ventana en 8 secciones diferentes, cada una de estas con un área de 0.078 metros cuadrados que representan el 12.5% de la superficie total de cada una de las ventanas de los recintos, permitiendo la apertura del 90% de la misma hacia el exterior de la vivienda.

La ventilación hacia el interior de la vivienda se calcula mediante fórmulas de ventilación cruzada en espacios como el patio (puerta y ventana) o unilateral en las habitaciones o cocina (1 ventana), para este cálculo se implementa la ley de Hellman calculando la velocidad del viento a la altura de la ventana según el entorno en el que se encuentre, se tienen en cuenta las infiltraciones que tienen cada uno de los remates o transiciones entre materiales a los cuales se les asigna un valor de 0.9 debido a la condición en la que se encuentran dichos elementos, cabe resaltar que la apertura de las ventanas se hace desde las 8 am hasta las 4 pm según comunicación personal entre E. Camargo y N. Montejo (20 febrero, 2022), favoreciendo la pérdida de energía ya recolectada en el interior a lo largo del día debido a la renovación de aire (cambio/hora) en cada uno de los recintos.

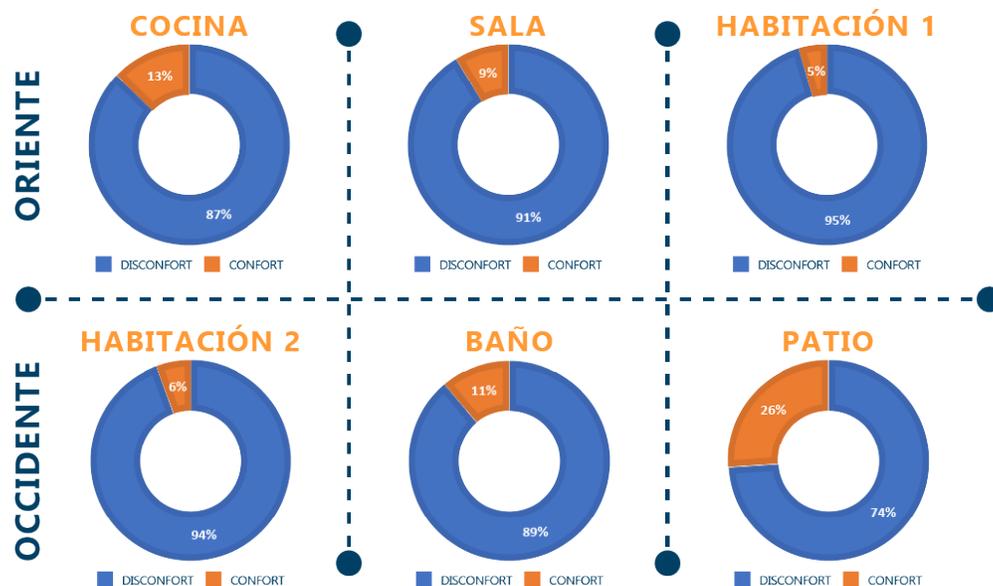
Resultados

Por medio de la simulación en Design Builder con todos los parámetros requeridos, tomando datos de ocupación, actividades realizadas, ventilación, iluminación (aporte energético externo en cada uno de los 6 recintos estudiados) y construcción (datos de materialidad como la densidad, la inercia térmica y la conductividad térmica) de cada uno de los espacios que se encuentran dentro de la vivienda y acorde con el método adaptativo de Auliciems en donde se aplica la fórmula de temperatura neutra ($T_n = 17.6 + (11 * 0.31)$) tiene un resultado de 21° Centígrados con una variación de 2.5° +/-), se genera un rango de confort de entre 18.5° Centígrados y los 23° Centígrados con respecto a la temperatura operacional de cada uno de los recintos.

En conclusión, y como lo muestra la figura 36, los resultados de la simulación del caso base, arrojan **el porcentaje de horas de confort en las cuales se encuentran los espacios estudiados a lo largo del año con respecto a las 24 horas del día.**

Figura 36

Resultados de simulación caso base.



Nota: Porcentaje de horas al año que se encuentra en confort térmico cada uno de los espacios respecto a la simulación base. Elaboración propia.

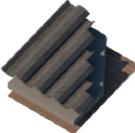
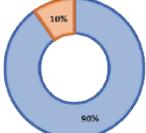
En los recintos ubicados tanto en la parte oriental como occidental de la vivienda se aprecia una baja cantidad de horas de confort debido a las infiltraciones y materiales que constituyen la edificación, los cuales tienen un alto factor de resistencia térmica (mayor a 1), perdiendo rápidamente la energía captada a lo largo del día gracias al aporte solar, ocupación o aporte energético externo, encontrándose en confort únicamente en las horas de la tarde.

Sin embargo, la parte occidental de la vivienda en donde se encuentra el patio, mantiene más horas de confort en el año frente a los demás espacios, esto, debido a la iluminación cenital con la que cuenta dicho espacio, además de la forma en la cual se consolida la cubierta sin ningún tipo de cielo raso, teniendo una ganancia de radiación solar gran parte del día además de una temperatura radiante elevada entregando energía a lo largo del día.

Sin embargo, al consolidar las temperaturas de toda la vivienda a lo largo del año y como lo muestra la figura 36 la edificación se encuentra dentro de zona de confort el 10% de las horas en 1 año, el cual es un valor insuficiente para el bienestar y la comodidad de los habitantes de la misma.

Tabla 6

Aporte energético.

	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN COMBINACIÓN	MURO	CUBIERTA	VENTANERÍA	GRÁFICO
SIM BASE	Muro Mampostería - Cubierta Teja Eternit - Ventanería Acero Vidrio Comun	Se tienen en cuenta los materiales implementados actualmente en la vivienda, simulando el comportamiento de los mismos.				

Nota: Detalles materialidad y gráfico resumen de cantidad de horas confort respecto a la simulación base. Elaboración propia.

En consecuencia, el 90% del año la vivienda se mantiene en un rango de temperatura inferior a los 18° centígrados, generando incomodidad al interior de la vivienda y teniendo que recurrir a métodos adaptativos como la vestimenta o tasa metabólica, e incluso elementos activos como calentadores para mejorar el confort térmico de los usuarios.

Capítulo 4: Simulación multivariada

Se realizan 18 simulaciones multivariadas, en las cuales se modifican 3 tipos de elementos constructivos (muros perimetrales, cubierta y ventanería), en donde se busca por medio de la adición de materiales (con propiedades de captación o aislamiento térmico), tanto al interior como al exterior de la vivienda aumentar las temperaturas, pero aun así, se mantienen los demás parámetros aplicados en la simulación del caso base como la ocupación, actividad e iluminación.

Mediante el planteamiento de materiales con propiedades térmicas eficientes (ver tabla 7), se valora el comportamiento de cada una de las propuestas con respecto a materialidad, para la posterior aplicación en viviendas que se encuentran ubicadas en zona de páramo.

Tabla 7

Características térmicas de los materiales implementados.

	MATERIAL	ESPESOR	DENSIDAD	CONDUCTIVIDAD TER	FACTOR DE RESISTENCIA
	Nombre	Metros	Kg/m ²	W/mK	W/m ² *K
MUROS	1 Ladrillo	0,09	1800	0,52	0,173076923
	2 Lana de Oveja	0,008	20	0,0362	0,220994475
	3 Lamina de Yeso	0,0127	750	0,25	0,0508
	4 Espuma Expansiva	0,025	38	0,046	0,543478261
	5 Madera MDF	0,009	750	0,2	0,045
	7 Revoque	0,03	1570	0,53	0,056603774
	CUBIERTA	1 Teja Techoline	0,003	3,36	0,099
2 Liston Madera		0,006	640	0,14	0,042857143
3 Lana de Roca		0,06	120	0,033	1,818181818
4 Teja Eternit		0,004	1920	0,09	0,044444444
5 Tierra Compactada		0,06	1800	0,95	0,063157895
VANOS	1 Marco en madera	0,06	640	1,43	0,041958042
	2 Marco en PVC	0,04	1390	1,3	0,030769231
	3 Vidrio Laminado	0,008	2500	1	0,008
	4 Vidrio Doble	0,14	2490	3,3	0,042424242

Nota: Tabla de donde se muestran las propiedades térmicas de cada uno de los materiales propuestos para la elaboración de la propuesta de composición de los elementos constructivos. Elaboración propia.

Por otra parte, se proponen diversas combinaciones para la composición de muros, cubiertas y ventanas como se evidencia en la tabla 8, en donde se evalúan y se tienen en cuenta diferentes determinantes como la densidad y la conductividad térmica de los materiales,

además del espesor individual para la verificación del factor de resistencia térmica y así calcular el valor U de las combinaciones propuestas.

Tabla 8

Composición de materiales propuestas.

	MURO 1	MURO 2	MURO 3	CUBIERTA 1	CUBIERTA 2	VENTANERÍA 1	VENTANERÍA 2
MATERIAL	Ladrillo	Ladrillo	Revoque 30mm	Techoline	Teja eternit	Marco de madera	Marco PVC
	Lana de oveja	Espuma expansiva	Ladrillo	Lana de roca	Tierra Compactada	Vidrio laminado	Vidrio doble camara
	Lamina Yeso	Madera MDF	Revoque 30mm	Liston de Madera	Liston madera		
VALOR U	1,63	1,04	1,65	0,579	2,52	2,7	2,54

Nota: Tabla en donde se presentan las combinaciones en materialidad para muros, cubiertas y ventanas que se implementaran en las simulaciones. Elaboración propia.

A continuación, y como se evidencia en la tabla 9 se plantean combinaciones de materialidad para 3 tipos de muro, 2 tipos de cubierta y 2 tipos de ventanería con características diferentes obteniendo variaciones en su valor U, compuestas tanto de materiales aislantes como de materiales captadores tanto en muros como en cubierta dependiendo el caso.

Tabla 9

Combinaciones de elementos constructivos con nomenclatura.

	COMBINACION	MATERIAL MURO	MATERIAL CUBIERTA	MATERIAL VANOS	NOMENCLATURA
SIMULACIONES MULTIVARIADAS	COMBINACION 1	Ladrillo - Lana de oveja - Lamina de Yeso	Techoline - Liston de madera - Lana de roca	Marco de madera - Vidrio laminado	M1 - C1 - V1
	COMBINACION 2	Ladrillo - Lana de oveja - Lamina de Yeso	Techoline - Liston de madera - Lana de roca	Marco PVC - Vidrio doble camara	M1 - C1 - V2
	COMBINACION 3	Ladrillo - Lana de oveja - Lamina de Yeso	Teja eternit - Tierra Compactada - Liston de madera	Marco de madera - Vidrio laminado	M1 - C2 - V1
	COMBINACION 4	Ladrillo - Lana de oveja - Lamina de Yeso	Teja eternit - Tierra Compactada - Liston de madera	Marco PVC - Vidrio doble camara	M1 - C2 - V2
	COMBINACION 5	Ladrillo - Espuma expansiva - Madera MDF	Techoline - Lana de roca - Liston de madera	Marco de madera - Vidrio laminado	M2 - C1 - V1
	COMBINACION 6	Ladrillo - Espuma expansiva - Madera MDF	Techoline - Lana de roca - Liston de madera	Marco PVC - Vidrio doble camara	M2 - C1 - V2
	COMBINACION 7	Ladrillo - Espuma expansiva - Madera MDF	Teja eternit - Tierra Compactada - Liston de madera	Marco de madera - Vidrio laminado	M2 - C2 - V1
	COMBINACION 8	Ladrillo - Espuma expansiva - Madera MDF	Teja eternit - Tierra Compactada - Liston de madera	Marco PVC - Vidrio doble camara	M2 - C2 - V2
	COMBINACION 9	Revoque 30mm - Ladrillo - Revoque 30mm	Techoline - Lana de roca - Liston de madera	Marco de madera - Vidrio laminado	M3 - C1 - V1
	COMBINACION 10	Revoque 30mm - Ladrillo - Revoque 30mm	Techoline - Lana de roca - Liston de madera	Marco PVC - Vidrio doble camara	M3 - C1 - V2
	COMBINACION 11	Revoque 30mm - Ladrillo - Revoque 30mm	Teja eternit - Tierra Compactada - Liston de madera	Marco de madera - Vidrio laminado	M3 - C2 - V1
	COMBINACION 12	Revoque 30mm - Ladrillo - Revoque 30mm	Teja eternit - Tierra Compactada - Liston de madera	Marco PVC - Vidrio doble camara	M3 - C2 - V2

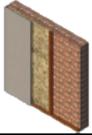
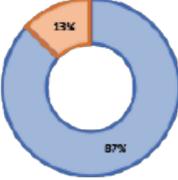
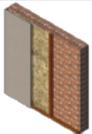
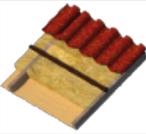
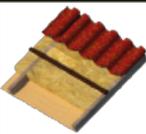
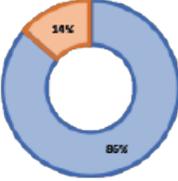
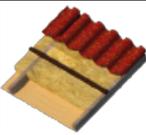
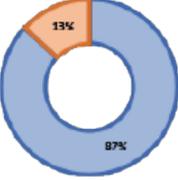
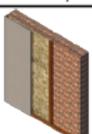
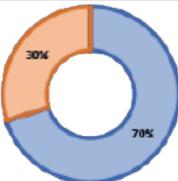
Nota: Tabla donde se muestra la nomenclatura de las simulaciones multivariadas propuestas para la posterior simulación de las mismas. Elaboración propia.

Por medio de la combinación de materiales, se generan 12 simulaciones multivariadas con la combinación entre los planteamientos de muros, cubiertas y ventanas, las cuales tienen una composición de materiales diferentes, generando diversos resultados frente a las horas de confort que puede obtener cada espacio de la vivienda, al mismo tiempo, a cada una de las combinaciones se le asigna una nomenclatura para la posterior simulación de los casos

mejorados, cambiando los materiales que componen a cada uno de los elementos constructivos.

Tabla 10

Resultados y combinaciones de las simulaciones multivariadas.

	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN COMBINACIÓN	MURO	CUBIERTA	VENTANERÍA	GRÁFICO
SIMULACIÓN 1	Muro 1 - Cubierta 1 - Ventanería 1 (M1-C1-V1)	Se implementan materiales materiales de tipo aislante en muros y cubierta.				
			Ladrillo común Lana de oveja Lámina de yeso	Listón de madera Lana de roca Techoline	Marco madera Vidrio laminado	
SIMULACIÓN 2	Muro 1 - Cubierta 1 - Ventanería 2 (M1-C1-V2)	Se implementan materiales materiales de tipo aislante en muros y cubierta.				
			Ladrillo común Lana de oveja Lámina de yeso	Listón de madera Lana de roca Techoline	Marco PVC Vidrio doble / cámara	
SIMULACIÓN 5	Muro 2 - Cubierta 1 - Ventanería 1 (M2-C1-V1)	Se implementan materiales aislantes en muros perimetrales y cubierta.				
			Ladrillo común Espuma expansiva Lámina MDF	Listón de madera Lana de roca Techoline	Marco madera Vidrio laminado	
SIMULACIÓN 6	Muro 2 - Cubierta 1 - Ventanería 2 (M2-C1-V2)	Se implementan materiales aislantes en muros perimetrales y cubierta.				
			Ladrillo común Espuma expansiva Lámina MDF	Listón de madera Lana de roca Techoline	Marco PVC Vidrio doble / cámara	
SIMULACIÓN 3	Muro 1 - Cubierta 2 - Ventanería 1 (M1-C2-V1)	Se implementan materiales aislantes en los muros perimetrales y materiales captadores en la cubierta.				
			Ladrillo común Lana de oveja Lámina de yeso	Listón de madera Tierra compactada 5cm Teja eternit	Marco madera Vidrio laminado	
SIMULACIÓN 4	Muro 1 - Cubierta 2 - Ventanería 2 (M1-C2-V2)	Se implementan materiales aislantes en los muros perimetrales y materiales captadores en la cubierta.				
			Ladrillo común Lana de oveja Lámina de yeso	Listón de madera Tierra compactada 5cm Teja eternit	Marco PVC Vidrio doble / cámara	

	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN COMBINACIÓN	MURO	CUBIERTA	VENTANERÍA	GRÁFICO
SIMULACIÓN 7	Muro 2 - Cubierta 2 - Ventanería 1 (M2-C2-V1)	Se implementan materiales aislantes en los muros y materiales captadores en la cubierta.				
			Ladrillo común Espuma expansiva Lámina MDF	Listón de madera Tierra compactada 6cm Teja eternit	Marco madera Vidrio laminado	
SIMULACIÓN 8	Muro 2 - Cubierta 2 - Ventanería 2 (M2-C2-V2)	Se implementan materiales aislantes en los muros y materiales captadores en la cubierta.				
			Ladrillo común Espuma expansiva Lámina MDF	Listón de madera Tierra compactada 6cm Teja eternit	Marco PVC Vidrio doble / cámara	
SIMULACIÓN 9	Muro 3 - Cubierta 1 - Ventanería 1 (M3-C1-V1)	Se implementan materiales captadores en los muros perimetrales y materiales aislantes en la cubierta.				
			Pañete exterior Ladrillo común Pañete interior	Listón de madera Lana de roca Techoline	Marco madera Vidrio laminado	
SIMULACIÓN 10	Muro 3 - Cubierta 1 - Ventanería 3 (M3-C1-V3)	Se implementan materiales captadores en los muros perimetrales y materiales aislantes en la cubierta.				
			Pañete exterior Ladrillo común Pañete interior	Listón de madera Lana de roca Techoline	Marco PVC Vidrio doble / cámara	
SIMULACIÓN 11	Muro 3 - Cubierta 2 - Ventanería 1 (M3-C2-V1)	Se implementan materiales captadores tanto en los muros como en la cubierta.				
			Pañete exterior Ladrillo común Pañete interior	Listón de madera Tierra compactada 6cm Teja eternit	Marco madera Vidrio laminado	
SIMULACIÓN 12	Muro 3 - Cubierta 2 - Ventanería 2 (M3-C2-V2)	Se implementan materiales captadores tanto en los muros como en la cubierta.				
			Pañete exterior Ladrillo común Pañete interior	Listón de madera Tierra compactada 6cm Teja eternit	Marco PVC Vidrio doble / cámara	

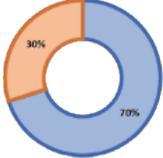
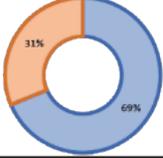
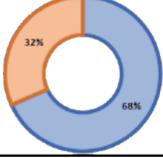
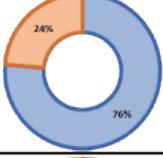
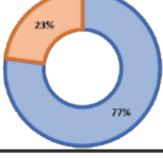
Nota: Tabla donde se muestra los resultados finales de las simulaciones multivariadas propuestas. Elaboración propia

Por medio de las simulaciones multivariadas en la cuales se modifica la composición de muros, cubiertas y ventanas, se evidencian diferentes comportamientos según los materiales implementados, ya bien sean materiales aislantes o captadores mejorando la cantidad de horas confort en cada uno de los recintos que la componen.

Estos mediante la combinación de materiales en cada uno de los elementos constructivos que conforman la vivienda, mejorando de esta manera los rangos de confort presentados en cada uno de los recintos expresados de la siguiente manera:

Tabla 11

Resultados de simulaciones multivariadas.

	MURO	CUBIERTA	RESULTADO	DETALLE	HUELLA DE CARBONO	GASTO ENERGETICO	PRECIO
SIMULACIÓN 3	Muro Aislante Ladrillo Comun Lamina de Lana de Roca Lamina de yeso	Cubierta Captadora Teja en Eternit Tierra compactada Tablon de Madera			82,714 CO2/KG	495,918 MJ/KG	57,622,929 COP
	MURO 1	CUBIERTA 2					
SIMULACIÓN 4	Muro Aislante Ladrillo Comun Lamina de Lana de Roca Lamina de yeso	Cubierta Captadora Teja en Eternit Tierra compactada Tablon de Madera			82,140 CO2/KG	489,703 MJ/KG	58,44,850 COP
	MURO 1	CUBIERTA 2					
SIMULACIÓN 7	Muro Aislante Ladrillo Comun Espuma Expandida Lamina de MDF	Cubierta Captadora Teja en Eternit Tierra compactada Tablon de Madera			85,927 CO2/KG	541,803 MJ/KG	40,531,524 COP
	MURO 2	CUBIERTA 2					
SIMULACIÓN 8	Muro Aislante Ladrillo Comun Espuma Expandida Lamina de MDF	Cubierta Captadora Teja en Eternit Tierra compactada Tablon de Madera			85,353 CO2/KG	535,588 MJ/KG	41,351,446 COP
	MURO 2	CUBIERTA 2					
SIMULACIÓN 11	Muro Captador Capa 3 cm Revoque Ladrillo Comun Capa 3 cm Revoque	Cubierta Captadora Teja en Eternit Tierra compactada Tablon de Madera			83,553 CO2/KG	504,431 MJ/KG	30,474,258 COP
	MURO 3	CUBIERTA 2					
SIMULACIÓN 12	Muro Captador Capa 3 cm Revoque Ladrillo Comun Capa 3 cm Revoque	Cubierta Captadora Teja en Eternit Tierra compactada Tablon de Madera			82,980 CO2/KG	498,217 MJ/KG	31,294,180 COP
	MURO 3	CUBIERTA 2					

Nota: Tabla donde se muestra los resultados finales de las simulaciones multivariadas propuestas en forma resumida y concreta. Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 11 enlazada con la tabla 7 existe un **aumento de las horas de confort en un 20% en las simulaciones 3, 4, 7 y 8** las cuales contienen

combinaciones de materiales aislantes en los muros y captadores en la cubierta, los cuales, independientemente de la ventanería implementada funcionan de manera efectiva, arrojando resultados favorables a comparación de la simulación base que contaba con el 10% de confort al año.

Por el contrario, las simulaciones 1, 2, 5, 6, 9 y 10 arrojaron una menor cantidad de horas confort con un aumento únicamente del 2% y 3% respectivamente, debido a que se implementaron materiales aislantes en la cubierta, los cuales no permiten que la energía calórica recolectada por el material a lo largo del día se transfiera al interior de la vivienda.

Por otro lado, al observar y verificar el proceso constructivo de cada una de las opciones en cuanto a muros, cubiertas y ventanería, se halló que en el caso de la cubierta 2 (listón de madera, tierra compactada y teja Eternit) los listones de madera no eran lo suficientemente resistentes para soportar el peso de la capa de tierra compactada de 6 cm de espesor, por lo tanto se hizo el cambio de material de listón a tablón el cual cuenta con mayor dimensión y espesor, cambiando también los resultados de las simulaciones en las cuales dicha cubierta se encontraba implementada arrojando resultados de: Simulación 3 – 4 de 30%, Simulación 7 - 8 de 31% y Simulación 11 - 12 de 24% de horas confort a lo largo del año, por dicho motivo, se realizó nuevamente proceso de simulación, sin embargo, los resultados obtenidos fueron iguales a los anteriormente mencionados.

Ahora bien, ya solucionados los procesos constructivos de las propuestas, se tiene en cuenta que la ubicación geográfica de la vivienda es en la zona del trópico y el recorrido solar siempre va de oriente a occidente con muy baja inclinación a norte o sur, por lo tanto, las cubiertas de las viviendas en general son altamente impactadas por la radiación solar y por el contrario, los muros perimetrales de la edificación reciben bajo impacto solar y solo en horas determinadas del día. Por consecuencia, la cubierta es un elemento capaz de captar, retener y

liberar hacia el interior de la vivienda la energía calórica recolectada a lo largo de todo el día, afectando positivamente el confort térmico en una vivienda de clima frío.

En conclusión, por medio de la combinación de muros aislantes y cubierta captadora que funcionen constructivamente, se puede lograr una mayor cantidad de horas de confort en la vivienda, ya que la cubierta por su mayor exposición a radiación solar a lo largo del día, ayuda a captar e ingresar la energía a la vivienda, mientras que los muros retienen la energía ingresada y la energía operacional por una mayor parte del tiempo, por consiguiente, se beneficia al usuario aumentando el confort térmico al interior de la vivienda en un 30% más de horas al año partiendo del caso base.

Capítulo 5: Análisis técnico y financiero

Con el fin de dar soporte y viabilidad a cada una de las propuestas (combinaciones de materiales) se desglosó y se analizó cada una de las actividades correspondientes para la instalación de cada una de las mejoras en el sitio estudiado Vereda el Guamal (Municipio de Subachoque) teniendo en cuenta todos los insumos y costos que se conlleva.

En consecuencia, se formaliza cada uno de los análisis de precios unitarios (APU) dependiendo de la actividad a realizar y el elemento constructivo a mejorar (sea muro, cubierta o ventanería) con el fin de verificar precios acertados y la mejor propuesta a implementar tanto constructiva como financieramente.

A continuación, desde la tabla 12 hasta la tabla 18 se encuentran consignados cada uno de los APU que componen las propuestas constructivas ya simuladas con un valor aproximado por metro cuadrado con respecto a muros.

Tabla 12

Análisis de precios unitarios (APU) Muro 1.

MURO 1				
ITEM	MONTAJE ESTRUCTURA MADERA			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Durmiente 4*4*2.9 Ordinario	UND	0,69	\$ 5.895,65	\$ 4.068
Herramienta Menor	%	2	\$ 611,00	\$ 1.222
Hora Cuadrilla DD Carpintería	HC	0,5	\$ 27.236,00	\$ 13.618
Chazo Concreto 5/16	UND	4	\$ 1.237,00	\$ 4.948
VALOR M2				\$ 23.856

MURO 1				
ITEM	MONTAJE AISLANTE (LANA DE OVEJA)			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Adhesivo cementoso para fijación de paneles	KG	1	\$ 2.211	\$ 2.211
Panel Lana de Oveja	M2	1	\$ 350.000	\$ 350.000
Herramienta menor	%	2	\$ 408	\$ 815
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,113	\$ 34.301	\$ 3.876
VALOR M2				\$ 356.902

MURO 1				
ITEM	MONTAJE LÁMINA DE YESO			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Hora cuadrilla GG- Drywall	HC	0,25	\$ 36.965	\$ 9.241
Lámina de yeso regular 1/2"	UND	0,34	\$ 19.371	\$ 6.586
Lija de pintura grano 180	UND	0,06	\$ 1.750	\$ 105
Masilla supermastick PR (5 GL)	GL	0,14	\$ 8.843	\$ 1.238
Perno 1" clavo normal	UND	4	\$ 61	\$ 243
Tornillo 1" punta fina	UND	8,6	\$ 0,10	\$ 0,86
VALOR M2				\$ 17.414

MURO 1				
ITEM	ACABADO PINTURA 3 MANOS			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta Menor	%	10	\$ 413	\$ 4.133
Hora Cuadrilla CC Pinturas	HC	0,25	\$ 36.188	\$ 9.047
Lija de Pintura Grano 180	UND	0,06	\$ 1.750	\$ 105
Vinilo Caneca 5gl	UND	0,01	\$ 168.900	\$ 1.689
VALOR M2				\$ 14.974
VALOR MURO 1 M2				\$ 413.146

Nota: Muro consolidado mediante el ladrillo existente en el área de intervención, añadiéndole un marco en madera, un aislante de lana de oveja y un acabado de lámina de yeso, con un precio por metro cuadrado de 413.146 mil pesos colombianos. Elaboración propia.

Tabla 13

Análisis de precios unitarios (APU) Muro 2.

MURO 2				
ITEM	MONTAJE ESTRUCTURA MADERA			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	PRECIO UNITARIO
Durmiente 4*4*2.9 Ordinario	UND	0,69	\$ 5.896	\$ 4.068
Herramienta Menor	%	2	\$ 611	\$ 1.222
Hora Cuadrilla DD Carpintería	HC	0,5	\$ 27.236	\$ 13.618
Chazo Concreto 5/16	UND	4	\$ 1.237,00	\$ 4.948
VALOR M2				\$ 23.856

MURO 2				
ITEM	MONTAJE LÁMINA DE MDF			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	PRECIO UNITARIO
Herramienta Menor	%	2	\$ 611	\$ 1.222
Hora Cuadrilla DD Carpintería	HC	0,5	\$ 27.236	\$ 13.618
Puntilla sin Cabeza 1"	LB	0,05	\$ 5.900	\$ 295
Triplex 9mm 1.22*2.44	UND	0,36	\$ 182.097	\$ 65.555
VALOR M2				\$ 80.690

MURO 2				
ITEM	APLICACIÓN ESPUMA EXPANSIVA			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	PRECIO UNITARIO
proyectado in situ	M2	1	\$ 25.598	\$ 25.598
espuma expansiva en estado	HC	1	\$ 3.801	\$ 3.801
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,218	\$ 33.771	\$ 7.362
Herramienta menor	%	2	\$ 18.381	\$ 36.761
VALOR M2				\$ 73.522

MURO 2				
ITEM	ACABADO DE PINTURA 3 MANOS			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	PRECIO UNITARIO
Herramienta Menor	%	10	\$ 413	\$ 4.133
Hora Cuadrilla CC Pinturas	HC	0,5	\$ 36.188	\$ 18.094
Lija de Pintura Grano 180	UND	0,06	\$ 1.750	\$ 105
Vinilo Caneca 5gl	UND	0,01	\$ 168.900	\$ 1.689
VALOR M2				\$ 24.021
VALOR MURO 2 M2				\$ 202.089

Nota: Muro consolidado mediante el ladrillo existente en el área de intervención, añadiéndole un marco en madera, un aislante de poliestireno proyectado y un acabado de lámina de MDF, con un precio por metro cuadrado de 202.021 mil pesos colombianos. Elaboración propia.

Tabla 14

Análisis de precios unitarios (APU) Muro 3.

MURO 3				
ITEM	MORTERO 1:3 3 CM (EXTERIOR)			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	PRECIO UNITARIO
Herramienta menor	%	5	\$ 433	\$ 2.166
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,72	\$ 21.793	\$ 15.691
Malla plastica de refuerzo	M2	1	\$ 2.035	\$ 2.035
Mortero 1:3	M3	0,03	\$ 596.750	\$ 17.903
VALOR M2				\$ 37.794

MURO 3				
ITEM	MORTERO 1:3 3 CM (INTERIOR)			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	PRECIO UNITARIO
Herramienta menor	%	5	\$ 433	\$ 2.166
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,72	\$ 21.793	\$ 15.691
Malla plastica de refuerzo	M2	1	\$ 2.035	\$ 2.035
Mortero 1:3	M3	0,03	\$ 596.750	\$ 17.903
VALOR M2				\$ 37.794

MURO 3				
ITEM	ESTUCO Y VINILO 3 MANOS			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	PRECIO UNITARIO
Estuco Plastico int Caneca 5 gal	UND	0,05	\$ 66.900	\$ 3.345
Herramienta Menor	%	10	\$ 413	\$ 4.133
Hora Cuadrilla CC Pinturas	HC	0,5	\$ 36.188	\$ 18.094
Lija de Pintura Grano 180	UND	0,06	\$ 1.750	\$ 105
Vinilo Caneca 5gl	UND	0,01	\$ 168.900	\$ 1.689
VALOR M2				\$ 27.366
VALOR MURO 3 M2				\$ 102.955

Nota: Muro consolidado mediante el ladrillo existente en el área de intervención, añadiéndole una capa de revoque tanto exterior como interior de 3 cm, con un precio por metro cuadrado de 102.955 mil pesos colombianos. Elaboración propia.

Posteriormente, se elaboró el mismo proceso con el elemento constructivo en la cubierta teniendo en cuenta cada una de las actividades a realizar como: desmonte de cubierta de fibrocemento, suministro e instalación de diferentes materiales como elementos en madera, aislantes y tejas para la conformación de cubiertas.

Tabla 15

Análisis de precios unitarios (APU) Cubierta 1.

CUBIERTA 1				
ITEM	DESMONTE CUBIERTA FIBROCEMENTO			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta menor	%	10	\$ 130,80	\$ 1.308,00
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,3	\$ 21.793,22	\$ 6.537,97
VALOR M2				\$ 7.845,97

CUBIERTA 1				
ITEM	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CORREAS			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Alambre galvanizado n18	KG	0,02	\$ 5,76	\$ 0,115
Durmiente de 4x4x2,9 ordinario	UND	1	\$ 5.896	\$ 5.896
Herramienta Menor	%	10	\$ 348	\$ 3.483
Hora Cuadrilla	HC	0,5	\$ 27.236	\$ 13.618
Perno 1" Clavo Normal	UND	4	\$ 61	\$ 243
Puntilla con Cabeza 2"	LB	0,3	\$ 3.890	\$ 1.167
VALOR M2				\$ 24.407,12

CUBIERTA 1				
ITEM	MONTAJE AISLANTE (LANA DE ROCA)			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta Menor	%	1	\$ 1.215	\$ 1.215
Hora Cuadrilla DD Carpintería	HC	0,6	\$ 27.235	\$ 16.341
Lámina Lana de Roca 60*60	UND	2,7	\$ 12.349	\$ 33.342
VALOR M2				\$ 50.897,98

CUBIERTA 1				
ITEM	MONTAJE TEJA TECHOLINE			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Fijación Techo Cubierta	UND	0,3	\$ 377	\$ 113
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,5	\$ 21.793	\$ 10.897
Teja Techoline 0.95*2	UND	0,6	\$ 58.200	\$ 34.920
VALOR M2				\$ 45.930
VALOR CUBIERTA 1 M2				\$ 129.081

Nota: Cubierta consolidada mediante una rejilla de repisas de madera, listones de madera con un aislante de lana de roca y un acabado con tejas del tipo techoline, con un precio por metro cuadrado de 129.081 mil pesos colombianos. Elaboración propia.

Tabla 16

Análisis de precios unitarios (APU) Cubierta 2.

CUBIERTA 2				
ITEM	DESMONTE TEJAS DE FIBROCEMENTO			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta menor	%	10	\$ 131	\$ 1.308
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,3	\$ 21.793	\$ 6.538
VALOR M2				\$ 7.845,97

CUBIERTA 2				
ITEM	DESMONTE LISTÓN DE MADERA			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta menor	%	10	\$ 130,80	\$ 1.308,00
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,3	\$ 21.793,22	\$ 6.537,97
VALOR M2				\$ 7.845,97

CUBIERTA 2				
ITEM	MONTAJE VIGAS DE REFUERZO			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Hora Cuadrilla DD Carpintería	HC	0,55	\$ 27.235	\$ 14.979
Puntilla con Cabeza 2"	LB	0,08	\$ 3.888	\$ 311
Repisa 0,12*0,6*3 Ordinario	UND	0,74	\$ 99.000	\$ 73.260
VALOR M2				\$ 88.550,00

CUBIERTA 2				
ITEM	MONTAJE TABLONES DE MADERA			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta Menor	%	10	\$ 490	\$ 4.901
Hora Cuadrilla DD Carpintería	HC	0,5	\$ 27.236	\$ 13.618
Tabla burra 0,20*0,022*2,9	UND	2	\$ 12.055	\$ 24.110
Puntilla con Cabeza 2"	LB	0,3	\$ 3.890	\$ 1.167
VALOR M2				\$ 43.796

CUBIERTA 2				
ITEM	MONTAJE TIERRA COMPACTADA			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUBICO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta Menor	%	10	\$ 666,80	\$ 6.668,00
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,4	\$ 21.792,50	\$ 8.717,00
Tierra negra	M3	1	\$ 42.250,00	\$ 42.250,00
VALOR M2				\$ 57.635,00

CUBIERTA 2				
ITEM	MONTAJE TEJA FIBROCEMENTO N6			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Gancho Teja Eternit 55mm	UND	2	\$ 893,00	\$ 1.786,00
Herramienta Menor	%	2	\$ 450,00	\$ 900,00
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,54	\$ 21.792,59	\$ 11.768,00
Teja Eternit N6	UND	0,67	\$ 29.391,04	\$ 19.692,00
VALOR M2				\$ 34.146,00
VALOR CUBIERTA 2 M2				\$ 239.818,92

Nota: Cubierta consolidada mediante una rejilla de repisas de madera, tabla burra de 2cm con una capa de 6 cm de tierra y un acabado de teja Eternit, con un precio por metro cuadrado de 239.818 mil pesos colombianos. Elaboración propia.

Finalmente, y para completar los análisis de precios unitarios de cada una de las propuestas, se formularon actividades específicas a realizar en los 2 tipos de ventanería

planteadas, tanto para el que contiene marco en PVC con doble vidrio y cámara sencilla como la que tiene marco en madera con vidrio laminado

Tabla 17

Análisis de precios unitarios (APU) Ventanería 1.

VENTANERÍA 1				
ITEM	DESMONTE DE MARCOS			
UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta menor	%	10	\$ 181	\$ 1.808
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,3	\$ 21.793	\$ 6.538
VALOR M2				\$ 8.346

VENTANERÍA 1				
ITEM	MONTAJE MARCOS DE MADERA			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Bisagra Gato Omega 3"	UND	1	\$ 1.837	\$ 1.837
Herramienta Menor	%	10	\$ 804	\$ 8.040
Hora Cuadrilla DD Carpintería	HC	2,5	\$ 27.235	\$ 68.087
Pegante Colbón Madera	KG	0,13	\$ 9.992	\$ 1.299
Planchón 18cm*4cm*290cm	UND	0,16	\$ 52.150	\$ 8.344
Puntilla sin Cabeza 1"	LB	0,13	\$ 5.900	\$ 767
Tornillo para Madera 1" n6	UND	6	\$ 12	\$ 74
VALOR M2				\$ 88.448

VENTANERÍA 1				
ITEM	PERFILADO DE VANOS			
UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta menor	%	5	\$ 276	\$ 1.381
Mortero 1:3	M3	0,002	\$ 596.500	\$ 1.193
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,5	\$ 21.792	\$ 10.896
VALOR M2				\$ 13.470

VENTANERÍA 1				
ITEM	MONTAJE VIDRIO LAMINADO 4+4			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Vidrio Laminado de Seguridad 4+4	M2	1	\$ 79.224	\$ 79.224
Cartucho de Silicona incolora	UND	0,29	\$ 8.655	\$ 2.510
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,424	\$ 20.708	\$ 8.780
Herramienta Menor	%	2	\$ 880	\$ 1.760
VALOR TOTAL M2				\$ 92.274

VALOR VENTANERÍA 1 M2				\$ 202.538
-----------------------	--	--	--	------------

Nota: Ventanería consolidada mediante un marco en madera y un vidrio de tipo laminado 4+4, con un precio por metro cuadrado de 202.538 mil pesos colombianos. Elaboración propia.

Tabla 18

Análisis de precios unitarios (APU) Ventanería 2.

VENTANERÍA 2				
ITEM	DESMONTE DE MARCOS			
UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta menor	%	10	\$ 181	\$ 1.808
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,3	\$ 21.793	\$ 6.538
VALOR M2				\$ 8.346

VENTANERÍA 2				
ITEM	MONTAJE MARCOS DE PVC			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Ventanal fijo marco PVC	UND	1	\$ 163.464	\$ 163.464
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	1,553	\$ 28.920	\$ 44.912
Herramienta Menor	%	2	\$ 2.198	\$ 4.395
VALOR M2				\$ 212.771

VENTANERÍA 2				
ITEM	PERFILADO DE VANOS			
UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Herramienta menor	%	5	\$ 276	\$ 1.381
Mortero 1:3	M3	0,002	\$ 596.500	\$ 1.193
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,72	\$ 21.792	\$ 15.690
VALOR M2				\$ 18.264

VENTANERÍA 2				
ITEM	MONTAJE VIDRIO DOBLE - CAMARA SENCILLA			
UNIDAD DE MEDIDA	METRO CUADRADO			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V UNITARIO	V TOTAL
Doble Acristalamiento Estandar	M2	2	\$ 45.294,00	\$ 90.588,00
Caucho de Silicona Sintética	UND	0,35	\$ 8.655,17	\$ 3.029,31
Material Auxiliar	UND	1	\$ 2.924,00	\$ 2.924,00
Hora Cuadrilla AA Albañilería	HC	0,381	\$ 20.706,03	\$ 7.889,00
Herramienta Menor	%	2	\$ 611,00	\$ 1.222,00
VALOR TOTAL M2				\$ 105.652,31

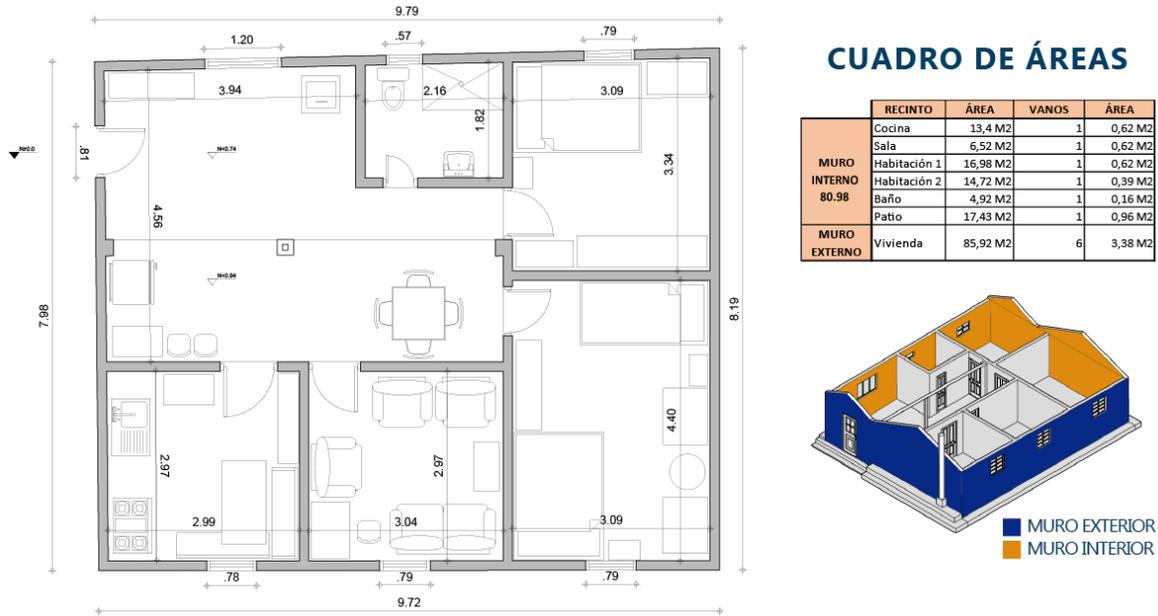
VALOR VENTANERÍA 2 M2				\$ 345.033,30
-----------------------	--	--	--	---------------

Nota: Ventanería consolidada mediante un marco en PVC y un vidrio doble y cámara sencilla cada uno de 6 mm, con un precio por metro cuadrado de 202.538 mil pesos colombianos. Elaboración propia.

Con el insumo de los APU actualizados a la fecha, se logra hacer un presupuesto de los 6 mejores resultados arrojados por las simulaciones multivariadas, las cuales superan el 24% de horas confort al año, superando el caso base por más del 14% beneficiando en gran medida a los usuarios de la vivienda.

Figura 37

Memoria de cantidades.



Elaboración propia.

Para lograr dicha actividad y con la ayuda de la memoria de cantidades (ver Figura 37) se multiplica el área total de intervención ya bien sea muros exteriores, muros interiores, cubierta y/o ventanería por el valor de metro cuadrado arrojado por los análisis de precios unitarios (APU), posterior a ello, se suman dichos resultados, mostrando el valor total para intervenir la vivienda con una u otra propuesta.

Así pues, como lo muestran la tabla 19 las simulaciones 3 y 4 respectivamente, tienen las propuestas de muro 1, cubierta 2, con diferentes tipos de ventanería. Estas simulaciones arrojaron un buen resultado, con un 30% de horas confort al año, con un costo de entre los 57 millones de pesos y 59 millones de pesos aproximadamente.

Tabla 19

Presupuesto simulación 3 y 4.

N°	ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
SIMULACIÓN 3					
1. MURO 1					
1.1	Montaje estructura en madera	80,98	M2	\$ 23.856	\$ 1.931.859
1.2	Montaje de Aislante (lana de oveja)	80,98	M2	\$ 356.902	\$ 28.901.924
1.3	Montaje de lámina de yeso	80,98	M2	\$ 17.414	\$ 1.410.194
1.4	Acabado pintura	80,98	M2	\$ 14.974	\$ 1.212.595
SUB-TOTAL					\$ 33.456.571,51
2. CUBIERTA 2					
2.1	Desmonte tejas de fibrocemento	96,71	M2	\$ 7.846	\$ 758.783
2.2	Desmonte de Listón de madera	96,71	M2	\$ 7.846	\$ 758.783
2.3	Montaje de vigas refuerzo	96,71	M2	\$ 88.550	\$ 8.563.670
2.4	Montaje estructura tablones de madera	96,71	M2	\$ 43.796	\$ 4.235.511
2.5	Montaje de Tierra compactada	96,71	M2	\$ 57.635	\$ 5.573.881
2.6	Montaje de Teja de fibrocemento	96,71	M2	\$ 34.146	\$ 3.302.259
SUB-TOTAL					\$ 23.192.888
3. VENTANERÍA 1					
3.1	Desmonte de marcos	6	UND	\$ 8.346	\$ 50.076
3.2	Perfilado de vanos	6	UND	\$ 13.470	\$ 80.819
3.3	Montaje de marco en madera	6	UND	\$ 88.448	\$ 530.688
3.4	Montaje de vidrio laminado 4mm	3,38	M2	\$ 92.274	\$ 311.886
SUB-TOTAL					\$ 973.469
TOTAL					\$ 57.622.929

N°	ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
SIMULACIÓN 4					
1. MURO 1					
1.1	Montaje estructura en madera	80,98	M2	\$ 23.856	\$ 1.931.859
1.2	Montaje de Aislante (lana de oveja)	80,98	M2	\$ 356.902	\$ 28.901.924
1.3	Montaje de lámina de yeso	80,98	M2	\$ 17.414	\$ 1.410.194
1.4	Acabado pintura	80,98	M2	\$ 14.974	\$ 1.212.595
SUB-TOTAL					\$ 33.456.572
2. CUBIERTA 2					
2.1	Desmonte de teja	96,71	M2	\$ 7.846	\$ 758.783
2.2	Desmonte de Listón de madera	96,71	M2	\$ 7.846	\$ 758.783
2.3	Montaje de vigas refuerzo	96,71	M2	\$ 88.550	\$ 8.563.670
2.4	Montaje estructura tablones de madera	96,71	M2	\$ 43.796	\$ 4.235.511
2.5	Montaje de Tierra compactada	96,71	M2	\$ 57.635	\$ 5.573.881
2.6	Montaje teja de fibrocemento	96,71	M2	\$ 34.146	\$ 3.302.259
SUB-TOTAL					\$ 23.192.888
3. VENTANERÍA 2					
3.1	Desmonte ventaneria	6	UND	\$ 8.346,00	\$ 50.075,99
3.2	Perfilado de vanos	6	UND	\$ 18.264,00	\$ 109.583,97
3.3	Montaje de marco en PVC	6	UND	\$ 212.771,00	\$ 1.276.625,99
3.4	Montaje de vidrio doble con camara	3,38	M2	\$ 105.652,31	\$ 357.104,80
SUB-TOTAL					\$ 1.793.990,76
TOTAL					\$ 58.442.850,45

Elaboración propia.

Ahora bien, como lo muestran las tablas 20 que tratan sobre el presupuesto de las simulaciones 7 y 8 las cuales arrojaron un 30% y 31% de confort al año respectivamente, tienen un costo aproximado de entre los 40 a los 42 millones de pesos, dichas simulaciones tienen la combinación de muro 2 y cubierta 2 con el cambio de ventanería de una a la otra, aun así sigue siendo una alternativa poco económica teniendo en cuenta que hay una diferencia de 20% más que el caso base (el cual arroja 10% de confort al año).

Tabla 20

Presupuesto simulación 7 y 8.

N°	ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
SIMULACIÓN 7					
1. MURO 2					
1.1	Montaje Estructura En Madera	80,98	M2	\$ 23.856	\$ 1.931.859
1.2	Aplicación de Espuma expansiva	80,98	M2	\$ 73.522	\$ 5.953.812
1.3	Montaje lámina madera MDF	80,98	M2	\$ 80.690	\$ 6.534.276
1.4	Acabado de Pintura	80,98	M2	\$ 24.021	\$ 1.945.221
SUB-TOTAL					\$ 16.365.167
2. CUBIERTA 2					
2.1	Desmonte de teja	96,71	M2	\$ 7.846	\$ 758.783
2.2	Desmonte de Listón de madera	96,71	M2	\$ 7.846	\$ 758.783
2.3	Montaje de vigas refuerzo	96,71	M2	\$ 88.550	\$ 8.563.670
2.4	Montaje estructura tablones de madera	96,71	M2	\$ 43.796	\$ 4.235.511
2.5	Montaje de Tierra compactada	96,71	M2	\$ 57.635	\$ 5.573.881
2.6	Montaje de Tejas de fibrocemento	96,71	M2	\$ 34.146	\$ 3.302.259
SUB-TOTAL					\$ 23.192.888
3. VENTANERÍA 1					
3.1	Desmonte de marcos	6	UND	\$ 8.346	\$ 50.076
3.2	Perfilado de vanos	6	UND	\$ 13.470	\$ 80.819
3.3	Montaje de marco en madera	6	UND	\$ 88.448	\$ 530.688
3.4	Montaje de vidrio laminado 4+4	3,38	M2	\$ 92.274	\$ 311.886
SUB-TOTAL					\$ 973.469
TOTAL					\$ 40.531.524

N°	ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
SIMULACIÓN 8					
1. MURO 2					
1.1	Montaje Estructura En Madera	80,98	M2	\$ 23.856	\$ 1.931.859
1.2	Aplicación de Espuma expansiva	80,98	M2	\$ 73.522	\$ 5.953.812
1.3	Montaje lamina madera MDF	80,98	M2	\$ 80.690	\$ 6.534.276
1.4	Acabado de Pintura	80,98	M2	\$ 24.021	\$ 1.945.221
SUB-TOTAL					\$ 16.365.167
2. CUBIERTA 2					
2.1	Desmonte de teja	96,71	M2	\$ 7.846	\$ 758.783
2.2	Desmonte de Listón de madera	96,71	M2	\$ 7.846	\$ 758.783
2.3	Montaje de vigas refuerzo	96,71	M2	\$ 88.550	\$ 8.563.670
2.4	Montaje estructura tablones de madera	96,71	M2	\$ 43.796	\$ 4.235.511
2.5	Montaje de Tierra compactada	96,71	M2	\$ 57.635	\$ 5.573.881
2.6	Montaje tejas de fibrocemento	96,71	M2	\$ 34.146	\$ 3.302.259
SUB-TOTAL					\$ 23.192.888
3. VENTANERÍA 2					
3.1	Desmonte de marcos	6	UND	\$ 8.346	\$ 50.076
3.2	Perfilado de vanos	6	UND	\$ 18.264	\$ 109.584
3.3	Montaje de marco en PVC	6	UND	\$ 212.771	\$ 1.276.626
3.4	Montaje de vidrio de doble con camara	3,38	M2	\$ 105.652	\$ 357.105
SUB-TOTAL					\$ 1.793.391
TOTAL					\$ 41.351.446

Elaboración propia.

Finalmente, en los presupuestos de las simulaciones 11 y 12 (ver tabla 21) las cuales tienen combinación de muro 3, cubierta 2 y las dos ventanearías planteadas, tiene un rango de

precios de entre los 30 y los 31 millones de pesos, sin embargo, dichas simulaciones son las de menor rendimiento en cuanto a los mejores resultados, ya que estas simulaciones mejoran únicamente el 14% y 15% con respecto al caso base, es decir, son las menos efectivas pero las más económicas.

Tabla 21

Presupuesto simulación 11 y 12.

N°	ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
SIMULACIÓN 11					
1. MURO 3					
1.1	Acabado Pañete exterior	85,92	M2	\$ 37.794,50	\$ 3.247.303,10
1.2	Acabado Pañete interior	80,98	M2	\$ 37.794,50	\$ 3.060.598,29
1.3	Estuco y Vinilo 3 manos	166,9	M2	\$ 27.366,00	\$ 4.567.385,40
				SUB-TOTAL	\$ 6.307.901,38
2. CUBIERTA 2					
2.1	Desmonte de teja fibrocemento	96,71	M2	\$ 7.845,97	\$ 758.783,37
2.2	Desmonte de Listón de madera	96,71	M2	\$ 7.845,97	\$ 758.783,37
2.3	Montaje de vigas refuerzo	96,71	M2	\$ 88.550,00	\$ 8.563.670,21
2.4	Montaje estructura tablonos de madera	96,71	M2	\$ 43.796,00	\$ 4.235.511,16
2.5	Montaje de Tierra compactada	96,71	M2	\$ 57.635,00	\$ 5.573.880,85
2.6	Montaje teja fibrocemento	96,71	M2	\$ 34.146,00	\$ 3.302.259,22
				SUB-TOTAL	\$ 23.192.888,18
3. VENTANERÍA 1					
3.1	Desmonte de marcos	6	UND	\$ 8.346,00	\$ 50.075,99
3.2	Perfilado de vanos	6	UND	\$ 13.469,83	\$ 80.818,98
3.3	Montaje de marco en madera	6	UND	\$ 88.448,00	\$ 530.687,99
3.4	Montaje de vidrio laminado	3,38	M2	\$ 92.274,00	\$ 311.886,11
				SUB-TOTAL	\$ 973.469,08
				TOTAL	\$ 30.474.258,64
SIMULACIÓN 12					
1. MURO 3					
1.1	Acabado Pañete exterior	85,92	M2	\$ 37.794,50	\$ 3.247.303,10
1.2	Acabado Pañete interior	80,98	M2	\$ 37.794,50	\$ 3.060.598,29
1.3	Estuco y Vinilo 3 manos	80,98	M2	\$ 27.366,00	\$ 2.216.098,68
				SUB-TOTAL	\$ 6.307.901,38
2. CUBIERTA 2					
2.1	Desmonte de teja	96,71	M2	\$ 7.845,97	\$ 758.783,37
2.2	Desmonte de Listón de madera	96,71	M2	\$ 7.845,97	\$ 758.783,37
2.3	Montaje de vigas refuerzo	96,71	M2	\$ 88.550,00	\$ 8.563.670,21
2.4	Montaje estructura tablonos de madera	96,71	M2	\$ 43.796,00	\$ 4.235.511,16
2.5	Montaje de Tierra compactada	96,71	M2	\$ 57.635,00	\$ 5.573.880,85
2.6	Montaje tejas de fibrocemento	96,71	M2	\$ 34.146,00	\$ 3.302.259,22
				SUB-TOTAL	\$ 23.192.888,18
3. VENTANERÍA 2					
3.1	Desmonte de marcos	6	UND	\$ 8.346,00	\$ 50.075,99
3.2	Perfilado de vanos	6	UND	\$ 18.264,00	\$ 109.583,97
3.3	Montaje de marco en PVC	6	UND	\$ 212.771,00	\$ 1.276.625,99
3.4	Montaje de vidrio doble con cámara	3,38	M2	\$ 105.652,31	\$ 357.104,80
				SUB-TOTAL	\$ 1.793.390,76
				TOTAL	\$ 31.294.180,32

Elaboración propia.

En conclusión, se deben tener claras las prioridades en lo correspondiente a la implementación de materiales en muros, cubiertas y ventanería sobre lo económico, ya que las alternativas más económicas son las que aportan menor confort térmico a lo largo del año y las alternativas más costosas son las que aportan a retener la temperatura dentro de la vivienda aumentando el confort térmico diario y anual.

Capítulo 6: Consumo energético y Huella de carbono

Para tener un parámetro adicional frente a las mejores simulaciones, y tener un punto más de comparación en la escogencia de la mejor opción, se toma como referencia la cantidad de energía consumida y la cantidad de emisiones de dióxido de carbono que se genera con la implementación de cada uno de los materiales que componen los elementos constructivos de ventanería, cubiertas y muros.

Por medio de la evaluación de la cantidad de mega Joules por kilogramo (MJ/Kg) y la cantidad de dióxido de carbono por kilogramo (CO₂/Kg), se puede determinar el impacto ambiental que tiene cada uno de los materiales implementados para la consolidación e instalación de cada una de las combinaciones propuestas en las simulaciones multivariadas.

Para esto se realiza un modelo en Revit de cada una de las propuestas, utilizando el plugin Tally <https://latinoamerica.autodesk.com/>, generando una identidad a cada una de las simulaciones, generando perfil específicos a cada uno de los materiales que lo componen, obteniendo datos de impacto ambiental y gasto energético de cada una de ellas. Analizando todas las etapas del producto.

Tabla 22

Etapas de los materiales.

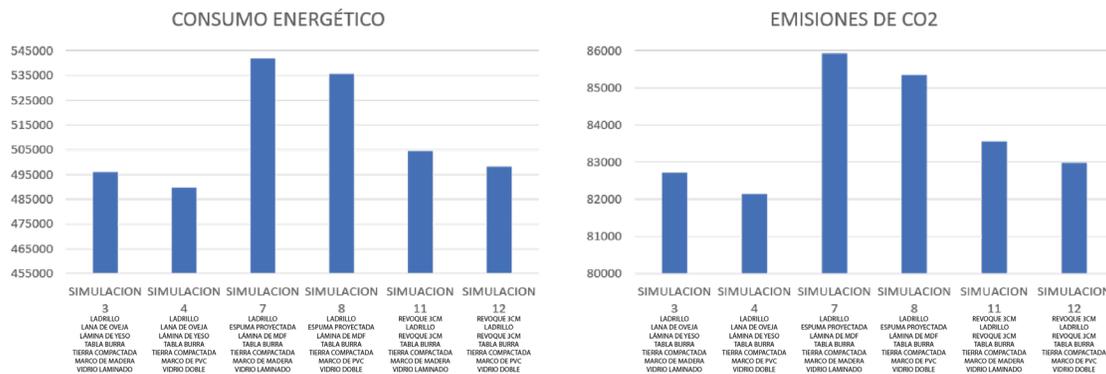
PRODUCTO	CONSTRUCCIÓN	USO	FIN DE LA VIDA	MODULO D
1, Extracción 2, Transporte a la Fabrica 3, Consolidacion	1, Transporte 2, Construccion e instalacion	1, Uso 2, Mantenimiento 3, Reparacion 4, Reemplazar 5, Reforma	1, Demolición 2, Transporte al deposito 3, Tratamiento 4, Desecho	1, Reusar 2, Energia recuperada 3, Reciclaje

Elaboración propia.

Se tienen en cuenta las 5 etapas de los materiales la consolidación del producto teniendo en cuenta la extracción, transporte y manufactura para la consolidación del material, la construcción evaluando el transporte al sitio y la instalación, el uso que contempla el mantenimiento, la reparación o reemplazar el elemento, el final de la vida del material teniendo en cuenta la demolición, transporte final y el módulo D en donde se destina el material para el reciclaje y la reutilización del material.

Figura 38

Consumo energético y emisiones de CO2.



Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis ambiental de gasto energético y emisiones de CO2 se determina que las mejores estrategias son la simulación número 3 y 4 aportando una buena cantidad de horas de confort al año, viable ambientalmente, teniendo una baja huella de carbono y así mismo un bajo gasto de energía.

Capítulo 7: Conclusiones

En conclusión, por medio de la combinación de muros aislantes y cubierta captadora que funcionen constructivamente, se puede lograr una mayor cantidad de horas de confort en la vivienda, ya que la cubierta por su mayor exposición a radiación solar a lo largo del día, permite la captación y el ingreso de la energía a la vivienda, mientras que los muros debido a su composición aislante retienen la energía a por una mayor cantidad de tiempo.

Por consiguiente, se beneficia al usuario aumentando el confort térmico al interior de la vivienda en un 20% más de horas al año según el 10% del caso base. Respecto a esto se determina que las ventanas pequeñas de la vivienda no permiten el ingreso de radiación solar suficiente para que el espacio se caliente de una manera eficiente, disminuyendo el confort térmico de la casa en general.

Lo mencionado anteriormente se genera debido a la selección de materiales según las características térmicas, eligiendo materiales tanto aislantes como captadores, teniendo en cuenta el factor de reflexión, de emisión y de absorción de esta manera, según el resultado del caso base, generar combinaciones con los materiales más aptos para dicha intervención.

Los materiales aplicados en muros como la lana de oveja y la espuma expansiva son las mejores opciones para la implementación de muros, debido a su baja conductividad térmica, permitiendo que la energía captada por la cubierta y producida al interior por la actividad permanezca por una mayor cantidad de tiempo,

Mientras que por el contrario, en la cubierta la mejor opción es un elemento captador como la tierra compactada y la teja de fibro cemento, debido a su alto factor de emisión y su

bajo nivel de reflexión, absorbiendo gran cantidad de energía emitiendo al interior de la misma. De esta manera captar la mayor cantidad de energía a través de la cubierta siendo retenida durante gran parte del día gracias a la composición aislante que tienen los muros, aumentando así la cantidad de horas confort que se pueden presentar al interior con estos casos mejorados.

Ahora bien, se debe tener en cuenta la necesidad o uso de cada uno de los recintos para una adecuada implementación de materiales ya sean aislantes y/o captadores que se requieren para la consolidación de esta. Por otro lado, debido a las claraboyas que se encuentran en el patio, la radiación solar ingresa a lo largo de las 12 horas de sol (promedio) al día generando una ganancia calórica significativa.

Sin embargo, se pierde por las infiltraciones presentes. Además del diseño inadecuado y la distribución interna de esta, ya que los espacios no están ubicados considerando la orientación y ganancia calórica que se puede llegar a obtener. Se deben tener claras las prioridades en lo correspondiente a la implementación de materiales en muros, cubiertas y ventanería sobre lo económico, ya que las alternativas más económicas son las que aportan menor confort térmico a lo largo del año y las alternativas más costosas son las que aportan a retener la temperatura dentro de la vivienda aumentando el confort térmico diario y anual.

Adicionalmente con respecto a resultados y conclusiones obtenidos se generan estrategias de diseño para la consolidación de viviendas nuevas, partiendo desde la etapa de planeación y consolidación de la misma, como lo es la orientación, el diseño de cada uno de los recintos, la forma o volumetría y sobre todo la materialidad con la cual se consolida la vivienda.

Capítulo 8: Estrategias para el diseño de nuevas viviendas

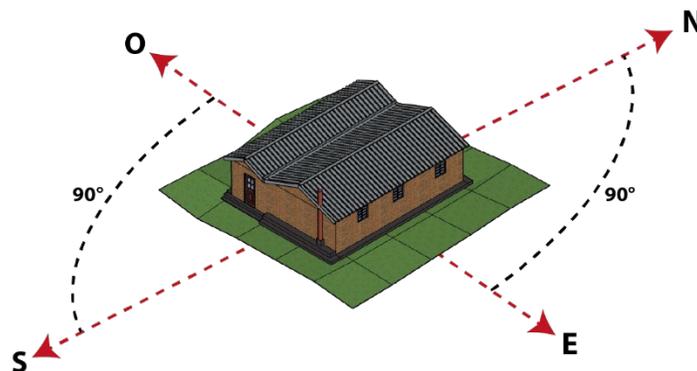
Teniendo en cuenta el análisis realizado en el caso de estudio se establecen unos lineamientos para la consolidación de una vivienda nueva en zonas de clima frío se deben tener en cuenta elementos relevantes para diseñar, planear y construir una edificación con condiciones climáticas diferentes, ya que la materialidad, orientación e incluso los acabados puede tener afectación en la cantidad de horas confort que se pueden obtener en cada uno de los recintos al interior de la vivienda.

Orientación

La orientación que se le puede dar a la vivienda, se puede lograr ubicando las fachadas más largas siguiendo el recorrido solar, es decir, al oriente y al occidente, permitiendo así el ingreso de radiación solar a la vivienda durante las horas de la mañana y de la tarde, garantizando la captación de energía en los espacios ubicados allí.

Figura 39

Estrategia orientación de la vivienda.



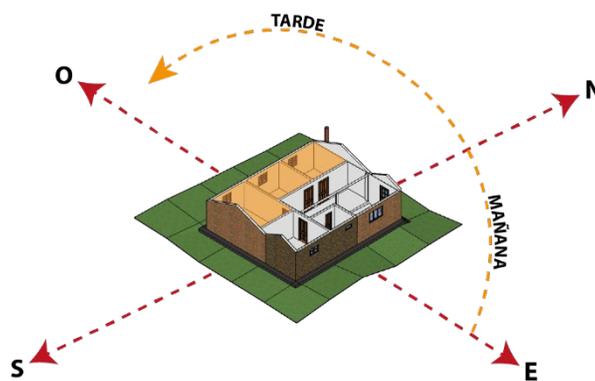
Elaboración propia.

Diseño

La distribución interna, es importante, se recomienda ubicar al occidente espacios como habitaciones las cuales se ocupan en la noche, de esta manera se garantiza que la energía que se recolecta en el transcurso de la tarde va a ser emitida una parte de la noche calentando el espacio, ubicando las áreas comunes en la zona oriental que recibe radiación en las horas de la mañana y ubicando las zonas privadas como las habitaciones en el occidente recibiendo la radiación de las horas de la tarde.

Figura 40

Estrategia de diseño de la vivienda.



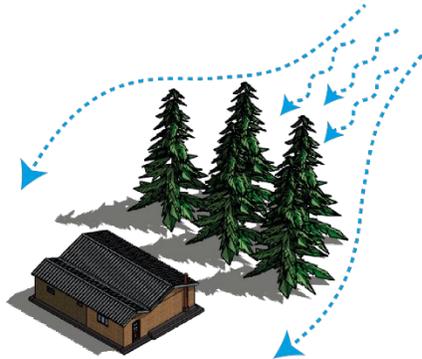
Elaboración propia.

Vegetación

Como estrategia para controlar la renovación de aire (cambios hora) dentro de la vivienda, en lugares donde se tenga impacto directo del viento, en pro de evitar que el este enfríe las superficies, se puede implementar barreras verdes, las cuales disminuyen el impacto directo de este sobre la misma.

Figura 41

Estrategia vegetación de la vivienda.



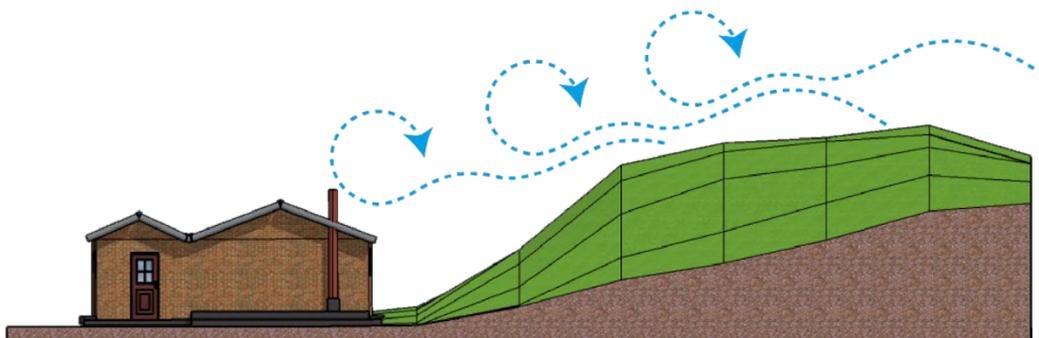
Elaboración propia.

Lugar

El terreno se puede usar como una barrera natural, disminuyendo la cantidad de viento que incide en la vivienda, ya que usualmente la brisa suele seguir con el recorrido impuesto por la topografía del lugar, ayudando a que el aire no impacte directamente sobre la vivienda a gran velocidad.

Figura 42

Estrategia lugar de la vivienda.



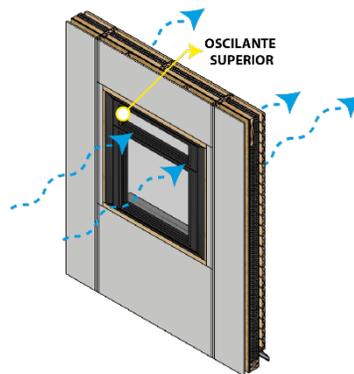
Elaboración propia.

Ventilación

Se recomienda que sea abatible en la parte superior, permitiendo que ingrese la ventilación necesaria a la vivienda de manera controlada, con una velocidad baja, moderando la cantidad de cambios hora que se pueden generar debido al impacto del viento sobre la superficie.

Figura 43

Estrategia ventilación de la vivienda.



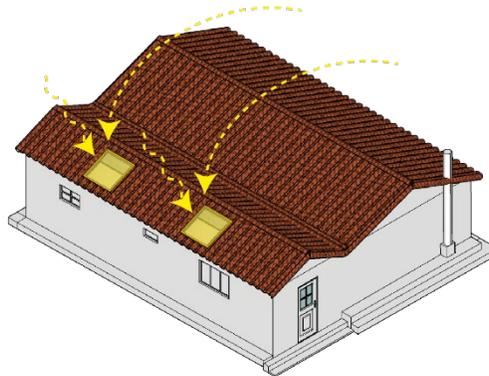
Elaboración propia.

Iluminación

Los vanos de las cubiertas (claraboyas) son una buena opción en espacios de circulación o los que no se encuentran adyacentes a las fachadas. Estos elementos deben controlarse para que no sean puentes térmicos implementando materiales que tengan baja transmitancia térmica.

Figura 44

Estrategia vanos de la vivienda.



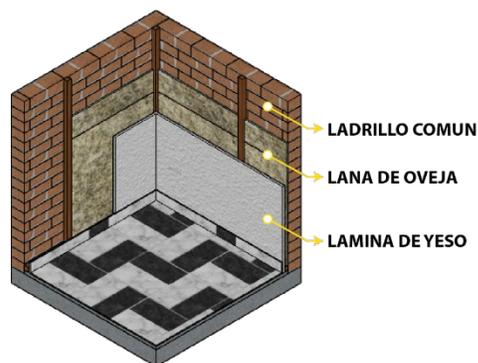
Elaboración propia.

Materialidad

Se recomienda la combinación de materiales tanto captadores en cubierta y aislantes en muros según la conductividad térmica de cada uno de ellos, teniendo en cuenta la composición de la vivienda, la trayectoria solar y la ubicación geográfica que tenga cada uno de los recintos, teniendo en cuenta también la actividad y la ocupación de cada uno de ellos.

Figura 45

Estrategia materialidad de la vivienda.



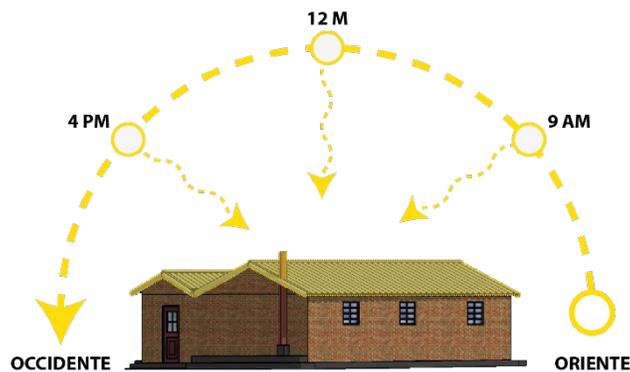
Elaboración propia.

Volumetría

Debido a que la cubierta es el elemento que capta mayor radiación solar a lo largo del día se recomienda generar viviendas que estén consolidadas por un solo nivel y alargadas, de esta manera toda la energía que es recolectada a través de esta se emitirá de una manera eficiente.

Figura 46

Estrategia volumetría de la vivienda.



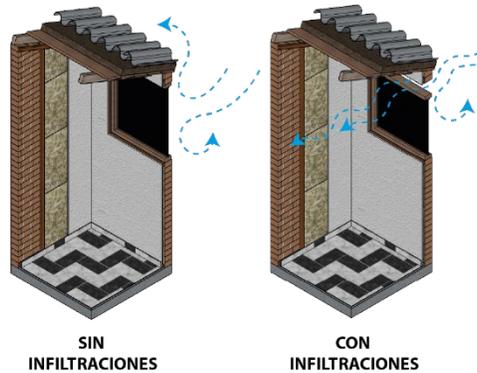
Elaboración propia.

Infiltraciones

Se debe eliminar cualquier tipo de infiltración o paso de viento descontrolado hacia el interior de los recintos, los cuales usualmente se presentan en la instalación y/o unión de elementos constructivos como muros, ventanería o cubierta, de esta manera generar una hermeticidad en la vivienda.

Figura 47

Estrategia infiltraciones de la vivienda.



Elaboración propia.

Contrapisos

Se debe eliminar el contacto directo, ya sea mediante la constitución de un piso flotante como un entramado de madera o por el contrario implementar materiales aislantes que impidan el paso de la energía desde el suelo hacia el interior de la vivienda.

Figura 48

Estrategia contrapiso de la vivienda.



Elaboración propia.

Haciendo hincapié en lo anterior se han encontrado variados temas de investigación en los cuales se puede profundizar de acuerdo con algunas ramas del proyecto que quedan inconclusas donde hace falta información, como por ejemplo:

- Estudio de materiales vernáculos en cuanto a características térmicas, caracterización de materiales en cuanto a las propiedades térmicas, identificando las mejores combinaciones para la implementación de los mismos en cada uno de los climas representativos del país.
- Propuesta de vivienda para la mejora del confort térmico en zonas de clima frío con materiales que tengan un buen comportamiento térmico, teniendo en cuenta la viabilidad ecológica y financiera para la persona del sector.

Bibliografía

¿Qué es el aislamiento térmico? (s.f.). *ecohouses feel different*. <https://www.ecohouses.es/que-es-el-aislamiento-termico/?lang=es>

¿Qué es el punto de rocío y cómo medirlo? (2022, 12 de mayo). ¿Qué es el punto de rocío y cómo medirlo? *Vaisala*. <https://www.vaisala.com/es/blog/2019-10/que-es-el-punto-de-rocio-y-como-medirlo>

ARCHI-BIO. (1979). Clasificación de los materiales según los factores de absorción y reflexión.

Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración [RITE]. (2017).

Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones.

http://www.cceecol.org/images/archivos/Biblioteca/RITE_2017_FINAL.pdf.

BBC News (2010, 7 de enero). ¿Por qué hace daño el frío? *BBC News*.

https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/01/100107_frio_salud_men

Blender, M. (2015a, 10 de marzo). El confort térmico. *Arquitectura & energía - Eficiencia energética y sostenibilidad en arquitectura y edificación*.

<http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>

Blender, M. (2015b, 23 de marzo). El valor U. La transmitancia térmica en edificación.

Arquitectura y energía - Eficiencia energética y sostenibilidad en arquitectura y edificación. <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-valor-u-la-transmitancia-termica-en-edificacion/>

Cabrerizo, B. (2012). Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de mampostería de ladrillo cerámico. *Centro de Investigaciones en Arquitectura y Urbanismo – CIAU Universidad Privada Boliviana*, 1(1), 71-83.

<https://www.upb.edu/revista-investigacion-desarrollo/index.php/id/article/view/48>

- Calderón, F. (2019). Evaluación Del Mejoramiento Del Confort Térmico Con La Incorporación De Materiales Sostenibles En Viviendas En Autoconstrucción En Bosa, Bogotá, Colombia. *Revista De Hábitat Sustentable*, 9(1), 30-41.
<https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.02.03>
- Cambridge. (s.f.). *Cambridge dictionary*. Obtenido el 12 de mayo de 2022 desde <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/espanol-ingles/humedad>
- Carrasco, A. (s.f.). Energía solar pasiva: todo lo que tienes que saber. *Otovo Blog*.
<https://www.otovo.es/blog/energia/energia-solar-pasiva/>
- Chávez, J. (2012). *Zona variable de confort térmico*.
<https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6104/07CAPITULO2.pdf?sequence=7&isAllowed=y> Conductividad térmica. (2020). Thermtest instruments Latin America.
<https://thermtest.com/latinamerica/que-es-la-conductividad-termica>
- Corrales, R. (2021). Superficie envolvente de control medio para mejorar el confort térmico de una vivienda en Huaraz. *Aporte Santiaguino*, 14(1), 230-252.
<https://doi.org/10.32911/as.2021.v14.n2.816>
- Mas, D. (2015). Método de Fanger Estimación de la sensación térmica. *Ergonautas*.
<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>
- Escuela de Refrigeración del Perú. (2020, 17 febrero). *Charla Técnica: "Uso de la Psicrometría en cálculo de equipos de aire acondicionado"* [Vídeo]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=BDBXsQ4PxPo>
- Escuela Española Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción [EADIC]. (2013). *Arquitectura bioclimática*. <http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/09/Tema-3-Confort-Ambiental.pdf>
- Fernández, X. Rubio, C. & Guevara, F. (2019). Rehabilitación energética de viviendas en España: confort térmico y efectividad. *Energy rehabilitation of homes in Spain: thermal*

- comfort and effectiveness. *Anales de edificación*, 5(1), 37-50.
<https://doi.org/10.20868/ade.2019.3913>
- García, I. & Beltrán, J. (2017). *Prototipo adaptable de unidad habitacional agroecológica (uha) para el ecosistema de páramo, con caso de estudio en Mongua, Boyacá*. [Trabajo de grado, universidad piloto de Colombia]. Re-pilo.
<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00051266.pdf>
- Giraldo, W. & Herrera, C. (2017). Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial. *Ingeniería y desarrollo*, 35(1), 77-101.
<http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n1/2145-9371-inde-35-01-00077.pdf>
- González, S. (2017). *Diseño de las estrategias de confort térmico para hábitat de emergencia (proyecto que suple las necesidades de confort térmico inmediato para damnificados por desastres naturales, en clima extremo cálido y frío)*. [Tesis de maestría, Universidad católica de Colombia]. RIUCaC.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15090/1/Dise%C3%B1o-de-las-estrategias-de-confort-t%C3%A9rmico-para-h%C3%A1bitat-de-emergencia.pdf>
- Hernández, J. (2018). *Estrategias de diseño bioclimático enfocado en el confort térmico*. [Tesis de maestría, Universidad católica de Colombia]. RIUCaC.
<https://core.ac.uk/download/pdf/213559778.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [IGAC]. (2018). *Datos abiertos agrología. Geo portal*.
<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>
- López, J. (2010). La habitabilidad de la arquitectura. The habitability of architecture. The case of housing. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3403564.pdf>
- Medina, J., Rodríguez, C., Coronado, M., & García, L. (2021). Revisión de alcance de la investigación de confort térmico en Colombia. *MDPI*. 11(6), 232.
<https://doi.org/10.3390/buildings11060232>

Meteoblue. (2021). Subachoque.

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/subachoque_colombia_3667760

Meteorología y clima mensual en Subachoque, Colombia. (2021). weather-atlas.

<https://www.weather-atlas.com/es/colombia/subachoque-clima>

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2015). *Parámetros y lineamientos de construcción sostenible. (Resolución 0549)* [http://ismd.com.co/wp-](http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Resoluci%C3%B3n-549-de-2015.pdf)

[content/uploads/2017/03/Resoluci%C3%B3n-549-de-2015.pdf](http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Resoluci%C3%B3n-549-de-2015.pdf)

Moreno, S. (2008). La habitabilidad urbana como condición de calidad de vida. *Palapa*. 3(2), 47-54 <https://www.redalyc.org/pdf/948/94814774007.pdf>

NORMA ISO, (2005). *Resolución 7730:2005*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517>

Noya, A. (2019). *Evaluación de la percepción de confort térmico que tienen los estudiantes del bloque 10 de la universidad de la costa*. [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa].

Repositorio Institucional.

ODS. (2019). Objetivos de Desarrollo Sostenible.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Olivera, L., Holguino, A., & Escobar, K. (2018). Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú. *Revista de investigadores Altoandinas*, 20(3), 289-300.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S231329572018000300003&lng=pt&nrm=iso.

Ordóñez, A. (2019, 13 de agosto). Estándar ASHRAE 55. *Seis cubos*.

<https://www.seiscubos.com/conocimiento/estandar-ashrae-55>

Ordoñez, A. (2021). Nivel de masa térmica. *Seis cubos*.

<https://www.seiscubos.com/conocimiento/nivel-de-masa-termica>

Pesántes, M. (2012). *Confort térmico en el área social de una vivienda unifamiliar en cuenca-ecuador*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/393>

Portilla, M. (2019). *Aplicación de sistemas bioclimáticos pasivos en base a las necesidades de confort termo lumínico del paciente en habitaciones de hospitalización y área de terapias en el diseño de un hospital oncológico, Pucallpa 2018*. [Tesis de licenciatura, Universidad privada del norte]. Repositorio institucional.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21538>

Real Academia Española. (s.f.). *Real Academia Española*. Obtenido e 10 de junio de 2022,

<https://dle.rae.es/temperatura?m=form>

Rouz, R., & García, V. (2014). Confort térmico versus consumo energético en viviendas de interés social en clima cálido y húmedo. *Legado*. 16(1), 123-140.

<https://www.redalyc.org/pdf/4779/477947304009.pdf>

S&P. (2018, 12 de mayo). Humedad. *El Blog de la ventilación eficiente*.

<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-relativa-especifica-absoluta/>

S&P. (2020, 2 de noviembre). ¿Qué es el diagrama psicrométrico? *El Blog de la ventilación eficiente*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/diagrama-psicrometrico/>

Saldarriaga, A. (2014). *Guía. Hábitat rural y vivienda campesina en Colombia. Premio Corona Pro Hábitat*.

<https://empresa.corona.co/storage/app/media/Premio%20Corona/Publicaciones/2013-2014-pcor-publicacion-estudiantil.pdf>

Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda. (2014). *Puentes térmicos*.

Ministerio de Fomento España. https://www.cgate.es/hit/Hit2016-2/DA-DB-HE-3_Puentes_termicos.pdf

Silva, M., Depaz, R., & Alva, O. (2017). Mejoramiento del confort térmico de vivienda en uso en la ciudad de Huaraz con el aprovechamiento de la energía solar pasiva. *Aporte Santiaguino*. 9(1), 37-48. <https://doi.org/10.32911/as.2016.v9.n1.211>

Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado [ASHRAE]. (2013). *Estándar ANSI/ASHRAE 55–2017*. <https://spain-ashrae.org/estandar-ansi-ashrae-55-2017/>

Thermtest instruments. (2020, 12 de mayo). Conductividad térmica. *Thermtest*. <https://thermtest.com/latinamerica/que-es-la-conductividad-termica>

Wieser, M., Rodríguez, S., & Onnis, L. (2021). Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo en Orduna., Puno, Perú. *Revista ESTOA*, 19(10). 9-19. <https://doi.org/10.18537/est.v010.n019.a01>