Análisis de la temperatura interna simulada variando materiales envolventes como técnica de refrigeración pasiva en viviendas

Modalidad:
Proyecto de investigación

Yon Fredy Guzmán Duran.
CC 1098711388
Jaime Eduardo Álvarez Barón
CC 1098606252

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias naturales e ingenierías
Ingeniería electromecánica
Bucaramanga (02 de Diciembre de 2022)

Análisis de la temperatura interna simulada variando materiales envolventes como técnica de refrigeración pasiva en viviendas

Modalidad:
Proyecto de investigación

Yon Fredy Guzmán Duran.
CC 1098711388
Jaime Eduardo Álvarez Barón
CC 1098606252

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnología en operación y mantenimiento electromecánico

DIRECTOR
Javier Ascanio Villabona

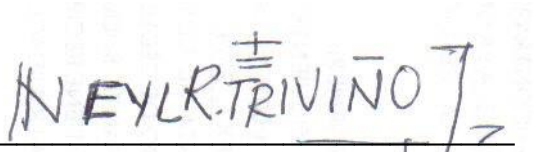
CODIRECTOR
Karen Tatiana Jaimes Quintero

Grupo de investigación de sistemas de energía automatización y control – GISEAC

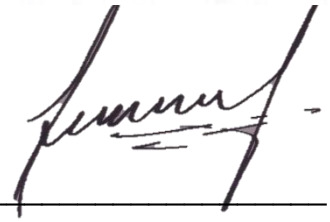
UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias naturales e ingenierías
Ingeniería electromecánica
Bucaramanga (02 de Diciembre de 2022)

Nota de Aceptación

Aprobado en el ACTA 10 - 10 ABRIL 2023 del comité de proyectos de grado de Ingeniería Electrómecanica articulado por ciclos propedéuticos con la Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios principalmente, por habernos permitido llegar a este momento importante dentro del proceso de formación académica, también a nuestros padres por su apoyo en cada uno de nuestros propósitos, por su ayuda incondicional y paciencia. Agradecemos a todos los docentes con los cuales compartimos a lo largo de la carrera, a nuestros familiares y amigos por animarnos en los momentos que sentíamos inalcanzable la meta.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto existe como resultado de la perseverancia, el esfuerzo y dedicación y desde luego el trabajo en equipo de quiénes a lo largo de este tiempo hemos compartido conocimientos y capacidades. A nuestros progenitores, quienes en el transcurso de la vida han afirmado, aportado y motivado de manera constante la formación académica. A esta acreditada institución universitaria, la UTS que permitió nuestra formación académica, a cada uno de los docentes del programa de Ingeniería Electromecánica por su dedicación y los conocimientos impartidos y especialmente al docente y director de este trabajo el ingeniero Javier Ascanio, por su tiempo y valiosa labor de orientación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO **11**

INTRODUCCIÓN **13**

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN **15**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **15**
1.2. JUSTIFICACIÓN **17**
1.3. OBJETIVOS **17**
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
1.4. ESTADO DEL ARTE **18**

2. MARCO REFERENCIAL **21**

2.1. MARCO TEÓRICO **21**
2.1.1 ORIENTACIÓN BIOCLIMÁTICA EN LA ARQUITECTURA 21
2.1.1 CONFORT TÉRMICO 22
2.1.2 TEORÍA DEL BALANCE TÉRMICO 24
2.1.3 ACCESO SOLAR 25
2.2 MARCO CONCEPTUAL **26**

2.3. ACCESO SOLAR: **26**

2.4. DESIGN BUILDER **27**

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION **28**

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO **31**

4.1. TECNOLOGÍAS DE TECHO PARA REFRIGERACIÓN **32**
4.2. TIPOS DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. **32**
4.2.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN 33
4.2.2. MATERIALES DE AISLAMIENTO 33
4.3. IDENTIFICACIÓN DEL SOFTWARE **35**
4.4. SELECCIÓN ZONA DE CASO DE ESTUDIO **36**
4.5. MODELADO EN SOFTWARE **37**
4.5.1. ESTRUCTURA 38

4.5.2. ACTIVIDAD 39
4.5.3. CERRAMIENTOS 40
4.5.4. ABERTURAS 41

5. RESULTADOS 42

5.1. SIMULACIÓN 42
5.1.1. MODELO 3D 42
5.1.2. CLIMATOLOGÍA 43
5.1.3. SOLUCIÓN PASIVA 44
5.1.4. SIMULACIÓN DE MODELOS BASE 47
5.2. SIMULACIÓN DE MODELOS CON ENVOLVENTES 50

6. CONCLUSIONES 57

7. RECOMENDACIONES 58

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59

9. APENDICES ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

10. ANEXOS ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Bioclimático 23
Figura 2 Metodología 29
Figura 3 Actividades realizadas en cada fase 30
Figura 4 Clasificación de los materiales aislantes envolventes. 34
Figura 5. Localización y Orientación de la vivienda. 36
Figura 6 Modelo simétrico 3D (Design Builder) 38
Figura 7 Porcentajes de ocupación por horas del dia. 40
Figura 8 Definición de cerramientos (Design Builder) 41
Figura 9 Configuración de acristalamientos (Design Builder) 42
Figura 10 Modelo del Vivienda caso de estudio. (Design Builder) 43
Figura 11 Datos climáticos del modelo. (Design Builder) 44
Figura 12 Análisis de Confort térmicos mes a mes. (Design Builder) 48
Figura 13 Confort térmico habitacional hora-hora por periodo de simulación. (Design Builder) 49
Figura 14 Balances térmicos de la ventilación (Design Builder) 50
Figura 15 Temperatura promedio por modelo 51
Figura 16 Temperatura promedio por Material. 52
Figura 17 Porcentaje de diferencia de temperatura entre el modelo base y modelos con envolventes 53
Figura 18 Horas de disconfort por mes. 55
Figura 19 comportamiento por Horas de disconfort por día. 56
Figura 20. Tipos de Investigación..... **¡Error! Marcador no definido.**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de aislantes térmicos 35
Tabla 2. Descripción general de la vivienda. 37
Tabla 3 Valores térmicos calculados de los cerramientos (Design Builder) 39
Tabla 4 Set Point refrigeración 40
Tabla 5 Modelos de simulación 44
Tabla 6. Descripción de la primera fase del estudio metodológico para construir un software en lenguaje Java ..... **¡Error! Marcador no definido.**

RESUMEN EJECUTIVO

El aumento de la población genera el aumento de la urbanización lo que conlleva a que el confort en los niveles de vida de los seres humanos han generen un aumento en la demanda de energía. El sector de la construcción es uno de los sectores demandantes de energía y consume alrededor del 40% del consumo total de energía, lo que conlleva a realizar grandes aportes negativas a la problemática ambiental. Gran parte de la energía necesaria en la construcción es usada para el mejoramiento del confort térmico habitacional ya sea para calefacción o refrigeración. Por tanto, uno de los desafíos principales en la investigación industrial y académica es reducir el uso de energía sin comprometer el confort térmico. Los materiales evolventes aislantes tienen potencial para aislar y reflectar el calor generando regulación térmica. El uso de materiales aislantes en la construcción es una metodología emergente que ofrece una refrigeración y calefacción considerables de los edificios que conducen al confort térmico con un consumo de energía reducido. Para analizar el comportamiento de la temperatura interna de un edificio, se realizó una revisión en el presente estudio para evaluar el efecto de distintas evolventes actualmente usadas en la construcción de los edificios. También se discuten las la comparación de las horas de disconfort térmico según la variación de las envolventes aplicadas en cada simulación. Con base en el estudio, se concluye que se presenta una reducción en la temperatura interna del edificio de caso estudio, pero con relación al confort térmico se genera una similitud en horas de disconfort con todas las envolventes. Entre las envolventes estudiadas, es evidente que la todas reducen la temperatura en horas diurnas y las mantiene la temperatura interior en las horas nocturnas. Este estudio puede ser útil para la

selección de envolventes y diferentes edificaciones con requerimiento de refrigeración pasiva.

PALABRAS CLAVE. Refrigeración pasiva, envolventes térmicas, simulación energética, Ahorro de energía; Materiales aislantes.

INTRODUCCIÓN

La energía es un factor principal para impulsar el crecimiento de la economía a nivel global. El crecimiento de la construcción habitacional y tendencia a mejorar el nivel de confort térmico humano a traído aumentos de la demanda de energía que todavía se satisface con el uso de combustibles fósiles, aportando consecuencias negativas al ambiente. Al analizar los sectores que demandan energía, el sector de la construcción es uno de los sectores de consumo de energía con una alta fuente de emisiones de carbono (Rathore & Shukla, 2021). La construcción representa aproximadamente el 40% del uso total de energía global. Este porcentaje puede aumentar en un 12 % y un 37 %, respectivamente, debido a un aumento en el consumo de energía para la calefacción de espacios y la refrigeración de edificios para 2050 (Rathore & Shukla, 2021). La forma más óptima para el uso razonable y disminución de la demanda energética es el cambio general en los estándares de vida y las necesidades de comodidad para calefacción y refrigeración en diferentes zonas climáticas. Como consecuencia, es necesario adoptar medidas para reducir el consumo de energía mediante la implementación de diversas tecnologías y sistemas renovables (Islam et al., 2021). Es así que la eficiencia energética de los edificios tanto nuevos como antiguos es el principal objetivo de la política energética a nivel mundial.

El uso de materiales para envolventes en construcción está ganando renombre en los sectores industrial y doméstico como una técnica de refrigeración pasiva como forma de mejorar la eficiencia energética de los edificios. Actualmente, se da un énfasis significativo al desarrollo de tecnologías para mejorar la eficiencia energética en los edificios. Entre todas las tecnologías, la incorporación de materiales de cambio de fase (PCM) en los edificios es un enfoque novedoso para reducir las cargas de refrigeración y calefacción de los edificios, (Boussaba et al.,

2021). Pero el hormigón, el cemento, la arena, los ladrillos y la madera son materiales de construcción de uso universal que almacenan energía térmica como una forma de energía sensible. Pero para países que no han llegado a estas tecnológicas y su investigación esta demorara se encuentran otros materiales de uso cotidiano en la construcción como maderas, polímeros, lanas, entre otros (Arumugam et al., 2022). Estos materiales, que están usando en las envolventes de los edificios, aíslan el calor, lo que retrasa e incluso reduce el pico de la ola de calor dentro de la estructura del edificio. Por lo tanto, la temperatura ambiente se mantiene cómoda durante la mayor parte del día y el sistema de refrigeración utiliza menos energía. Cuando la temperatura desciende por la noche, la envolvente mantiene el calor almacenado al interior de la vivienda, lo que da como resultado una temperatura ambiente agradable en horas nocturnas (Rathore et al., 2022). Esto mostrando que la variación de envolventes en los edificios es favorable, particularmente en climas extremadamente cálidos y fríos cuando las condiciones internas del edificio se mantienen en un nivel confortable consumiendo una cantidad considerable de energía(Sivanathan et al., 2020; Wonorahardjo et al., 2021).

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente Colombia tiene una gran demanda energética, lo cual se ha convertido en un problema por el uso de recursos naturales que están en decaimiento, generando altos costos en la energía debido a que las edificaciones no cuentan con diseños que tengan poco consumo energético (Gómez Ramírez et al., 2017), de acuerdo a esto se busca incentivar la generación de nuevas energías para el país (Juvinao Navarro, 2021). La necesidad de crear simulaciones que permitan tener confort en las viviendas, implica pensar en reacondicionamientos y propuestas que contemplen generar fuentes no convencionales de energía de acuerdo a la Ley 1715 de 2014, que sean sostenibles ambientalmente y económicamente (Serna Peña & Maestre Gallego, 2018), y la evaluación del comportamiento termo energético mediante una simulación del consumo de energía eléctrica, enfatiza que las modificaciones en el diseño envolvente afectan notoriamente el consumo energético final (Alías & Jacobo, 2004). Igualmente el análisis de diferentes envolventes para adecuaciones térmicas utilizando elementos pasivos, permiten obtener datos con relación al aprovechamiento de energías, siendo necesarios para la generación de nuevos diseños (Guzmán et al., 2018), ya que es importante el proceso de optimizarlos en la calefacción pasiva.(Giraldo & Arango, 2020b). Adicionalmente el desarrollo energético sostenible en Colombia requiere diversos planes de eficiencia energética (Moreno et al., 2018), buscando mejorar sus capacidades de recuperación de energía en ciertas condiciones (Pilatásig Lasluisa, 2020), para lo cual requiere generar estrategias con simulaciones usando materiales envolventes, con energías renovables.(Murillo Manrique, 2018). Es así como se plantea la pregunta central del proyecto de investigación

¿Analizar envolventes arquitectónicas capaces de garantizar a los espacios internos condiciones de confort en términos de bajo impacto ambiental en las condiciones específicas generará un modelo a evaluar en diferentes climas?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El problema con el agotamiento de los recursos energéticos convencionales y la alta demanda energética, requieren con urgencia buscar otras alternativas que permitan el aprovechamiento de los recursos naturales con el uso de materiales envolventes, utilizando técnicas de calefacción y refrigeración pasiva para la construcción de viviendas.

Los hogares colombianos buscan tener una mejor calidad de vida, buscando confort viviendo en construcciones frescas, más aún en climas cálidos húmedos y cálidos secos, donde el enfriamiento pasivo se utilice para estar cómodos.

En una casa pasiva se consume poca energía, mediante aislamiento térmico se busca reducir el exceso de calor, controlar la temperatura en climas cálidos, genera bajos costos, se aprovecha al máximo la luz del sol y se utilizan fuentes de energía naturales.

La realización de este proyecto busca realizar simulaciones que demuestren como el uso de materiales envolventes donde se pueden obtener diseños para la refrigeración pasiva en las viviendas, buscando ofrecer un alto nivel de confort, durabilidad, bajos costos y muy bajo consumo energético.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Análisis de la temperatura interna obtenida de la simulación de técnicas de envolventes estructurales como método de refrigeración pasiva para determinar las horas de confort térmico.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar las técnicas de envolventes estructurales usados en arquitecturas para mejorar la temperatura interna en edificaciones por medio de un análisis bibliográfico para establecer los modelos de simulación
- Simular los modelos generados de la selección técnicas de de envolventes estructurales por medio de software especializado, para obtener la base de datos de la temperatura interna y horas de confort.
- Comparar los datos obtenido de las simulaciones por medio del análisis de horas de confort térmico y temperaturas internas obtenida para establecer los mejores modelos de envolventes estructurales.
-

1.4. ESTADO DEL ARTE

La necesidad de tener un confort térmico en las casas o edificios requiere un alto consumo de energía, siendo su propósito mejorar la calidad de vida de las personas. El alto consumo de energía puede tener un desequilibrio al estar en lugares aislados o requerir altos costos en materia energética.

La ausencia de diseños que permitan la implementación del uso de materiales que mejoren las condiciones de construcción de una vivienda, generan la falta de eficiencia energética y el exceso de uso de energías renovables y no renovables, sin contar los altos costos que pueden producir y que no están al alcance de todos. Adaptar las construcciones para que tengan eficiencia energética con el uso de materiales adecuados, generando las condiciones óptimas para implementar confort térmico si el uso de energías, sería lo ideal para disminuir la potencia consumida por los dispositivos, siendo más adaptable al entorno y se aprovecharían los recursos naturales, ya que es necesario empezar a preservar el mundo actual.

Con base en los temas mencionados en el apartado anterior, para la búsqueda de estudiar los mejores materiales en el uso de la calefacción y refrigeración pasiva se definieron tres categorías de análisis que serán relacionadas a lo largo del trabajo

partiendo de modelos, calefacción - refrigeración pasiva, materiales, temas que serán abordados con relación a proyectos ya desarrollados.

Por consiguiente, se realizó una exploración bibliográfica sobre los temas ya mencionados, encontrados en proyectos de grado, estudios académicos, artículos de revistas educativas e investigaciones de postgrados, siendo las más relevantes para el desarrollo de este proyecto y que se relaciona a continuación:

Modelo: Se da inicio con esta categoría, dado que es el tema central de la investigación y del cual se deriva la propuesta, con relación a lo mencionado se acude al trabajo investigativo publicado en San Juan Argentina, donde relacionan como aplicar el confort térmico adaptativo en un edificio, teniendo en cuenta un modelo que considera la variación de la temperatura exterior y como se pueden adaptar los habitantes, combinando un monitoreo in situ que introduce datos subjetivos de ocupación y realiza la simulación energética con la herramienta Energy Plus. (Arballo et al., 2019)

En el siguiente estudio se buscó optimizar un sistema de captación solar pasiva adherible a las construcciones ya existentes en Boyacá, integrando simulaciones térmicas empleando EnergyPlus y algoritmos de RBFOpt, dando como conclusión evidencias variables para un buen diseño de captación solar. (Giraldo & Arango, 2020a)

Otra investigación es referenciada hacia el ahorro energético implementando materiales regionales en la construcción de viviendas, concluyen que en México no es habitual su uso en la vivienda social siendo una oportunidad viable estudiar las propiedades térmicas de los materiales regionales para su futuro desarrollo logrando diseños donde se pueda implementar el ahorro energético.(Guillén Guillén & Muciño Vélez, 2020)

Calefacción y Refrigeración pasiva: El siguiente estudio de monitoreo energético, se aborda la aplicación de tecnologías de reciclado masivo, en la vivienda social para

identificar diversas estrategias de mejoramiento en el ahorro energético, que generen un mayor impacto en la reducción de demanda energética, planificado en Argentina por las condiciones de un barrio que no tiene conexión a la red de gas natural.(Andersen et al., 2017)

Continuando con los sistemas de calefacción pasiva nos encontramos con el siguiente artículo que hace referencia al diseño de un techo solar adaptable para calefacción y refrigeración pasivas en las viviendas, mostrando como factibles escenarios futuros donde el techado pueda utilizarse convenientemente a favor del ahorro de mejorar la calidad de vida a bajos costos.(Juanico, 2006)

El siguiente trabajo se enfoca en realizar los análisis térmicos para dar las recomendaciones en el diseño de casas solares pasivas donde se tenga presente la calefacción solar y la refrigeración pasiva, enfocados en las exigencias de un clima variado y extremo. (Müller, 2008)

En Colombia buscando la viabilidad de un sistema de refrigeración solar para las zonas rurales sin acceso a la energía eléctrica, se realiza un estudio para el análisis termodinámico enfocado en la conservación de alimentos, concluyendo que generando un buen diseño de calor de solución, el evaporador y el rectificador, podría ser posible una solución a la problemática que se presenta.(Isaza et al., 2010)

Materiales: Para la siguiente investigación se realizaron simulaciones en 3D con el software ArchiWizard, estudiando la arquitectura bioclimática buscando resultados de confort térmico y lumínico, basado en soluciones de calefacción y refrigeración pasiva, inercia térmica de los materiales y aislamiento.(Rojas Tavera, 2018)

En la siguiente investigación chilena, se enfoca en transformar espacios exteriores más habitables para lo caminantes, siendo que las condiciones de clima son extremos y se requiere crear cubiertas para el confort de los peatones, estudiando tipologías para los elementos para la refrigeración pasiva que sean más adaptables a las necesidades expuestas. (Rosas Lusett, 2011)

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1 Orientación Bioclimática en la Arquitectura

La orientación bioclimática, se trata de la búsqueda de una arquitectura eficiente cuyo objetivo final es mejorar la calidad de vida. Se aborda desde una composición de soluciones arquitectónicas a partir del conjunto de técnicas y los materiales disponibles, con miras a conseguir el resultado del confort deseado, conforme con las exigencias del usuario y a partir del clima local (De Asiain, 2017). La concepción bioclimática es ante todo una especie de compromiso cuyas bases son:

- ✓ Un programa de arquitectura
- ✓ Un paisaje
- ✓ Una cultura
- ✓ Unos materiales locales
- ✓ Cierta noción del bienestar y del abrigo
- ✓ Y cuya síntesis es la envoltura habitable

El buen comportamiento bioclimático de los edificios debe lograrse mediante la comprensión y optimización de los ciclos de materiales, energía e información asociados a los edificios. Las actitudes bioclimáticas se basan principalmente en la búsqueda del confort, que está directamente relacionado con el bienestar. La comodidad se ve afectada por muchos factores físicos y psicológicos. En general, se puede decir que los aspectos de las actitudes bioclimáticas han evolucionado a partir de la búsqueda de comodidad física, psicológica y cultural. Se busca el confort físico considerando aspectos biofísicos y constructivos, mientras que el confort psicológico y cultural también se busca considerando aspectos antropológicos, culturales y constructivos.

Se debe hablar por tanto de aspectos climático-térmicos. Hacen referencia a dos puntos fundamentales: la calidad del aire para la respiración, con sus posibles olores, de difícil evaluación y que se suele considerar a través del parámetro de renovación del aire; y el confort térmico, donde intervienen los complejos fenómenos de intercambio de energía entre el cuerpo y el ambiente y que se suele considerar a través de los parámetros de temperatura del aire y temperatura radiante, humedad del aire, ventilación, etc.(De Asiain, 2017).

2.1.1 Confort térmico

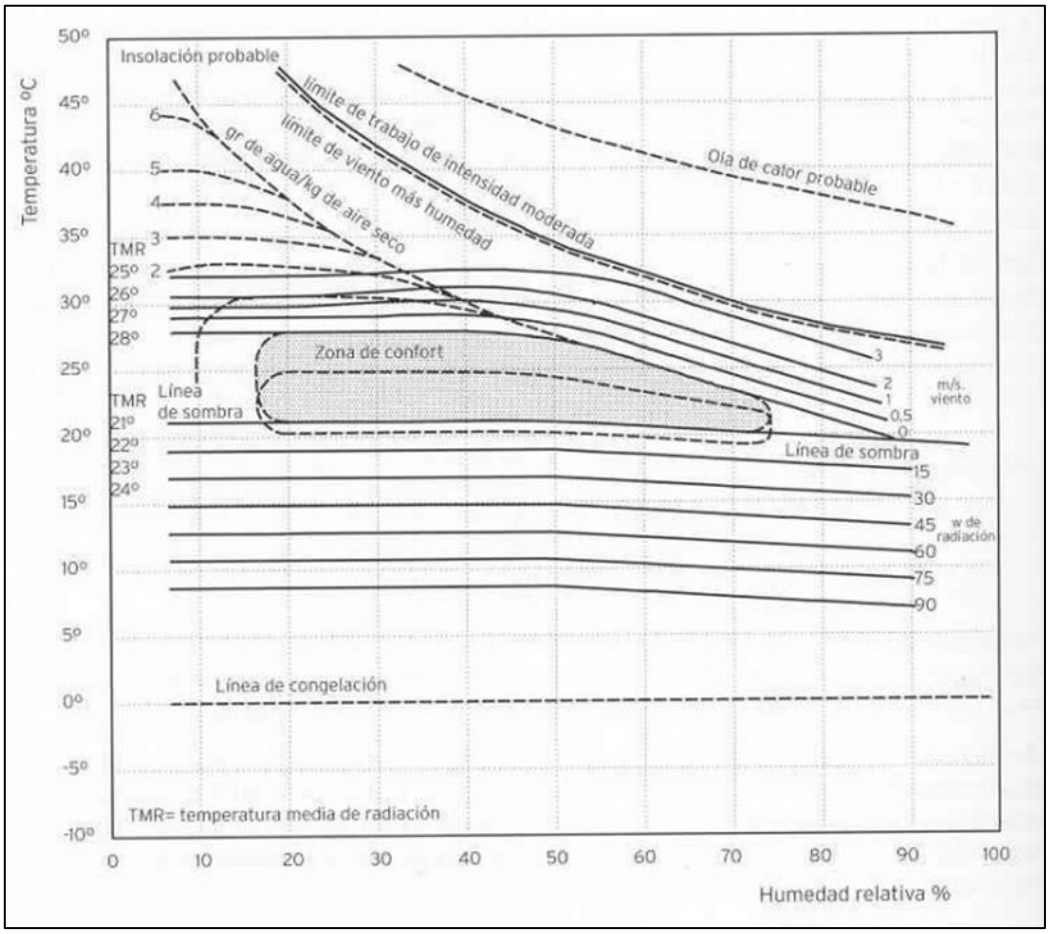
El confort térmico es una manifestación subjetiva de la satisfacción con el ambiente y el espacio que ocupa una persona, está directamente relacionado con el equilibrio térmico del cuerpo humano, por lo que es importante estudiar las condiciones de estrés por calor en las personas que experimentan algún tipo de ejercicio estresante. actividad constante en el edificio (Sokkar & Alibaba, 2020)
Entre los aspectos ambientales que afectan el confort térmico se encuentran la temperatura, la humedad y la velocidad del aire, todos ellos relacionados en un diagrama psicrométrico. Existen diferentes formas de transferencia de calor (conducción, convección y radiación) y métodos desarrollados que permiten lograr cuantas condiciones higrotérmicas de confort, como el recinto y el método de Fanger, que a menudo se utilizaban para calcular la temperatura de confort. (Sun et al., 2022).

El confort térmico depende de distintos parámetros (Sun et al., 2022). De modo específico, cuatro parámetros físicos caracterizan el ambiente térmico y determinan las condiciones de confort (Ver Figura 1):
1) La temperatura del aire: afecta los intercambios de calor con y sin transferencia de masa (secos y húmedos), así como el coeficiente de transferencia de calor.
2) Velocidad del viento: afecta en gran medida las pérdidas por convección y evaporación. Cerca del cuerpo vestido, el movimiento del cuerpo puede incrementar la velocidad. Una velocidad mínima de 0,1 m/s, existe siempre, debido a un movimiento permanente de aire natural en todas partes.

3) Humedad relativa: presenta un pequeño impacto cuando no hay sudor, entonces, el intercambio de calor latente respiratorio y la transpiración de la piel son las dos únicas transferencias asociadas a la humedad. De lo contrario, la humedad del aire, afecta fuertemente la evaporación del sudor, y, por lo tanto, la humedad de la piel.

4) La temperatura media radiante: que es la temperatura superficial uniforme de un recinto negro con el cual un individuo intercambia el mismo calor por radiación, que el que intercambia con el entorno real evaluado “Para los espacios exteriores, la temperatura media radiante representa la temperatura superficial uniforme de un recinto ficticio, en el que todas las superficies del recinto se encuentran en la misma temperatura” (Widiastuti et al., 2020).

Figura 1. Diagrama Bioclimático



Fuente: (Sun et al., 2022)

2.1.2 Teoría del balance térmico

Lo que es denominado hoy en día como modelo de balance térmico fue creado por Povl Ole Fanger (1993-2006) publicando hacia 1973 su primer escrito llamado la influencia de las condiciones climáticas en interiores de edificios sobre el ser humano, en este espacio, se define por primera vez dos métodos para cuantificar el confort, PPD (predictive percentage dissatisfed) Porcentaje Previsto de Insatisfechos y PMV (predictive mean vote) Voto Medio Previsto (Chrenko, 1980).

Estos métodos de balance han sido adoptados en la actualidad para los estándares de confort térmico. Durante los experimentos estadísticos se demostró que el disconfort con base en el frío se ve estrechamente relacionado con la temperatura media de la piel y el

disconfort por calor se relaciona con la humedad de la piel debido a la sudoración. Las teorías elaboradas por Povl Ole Fanger se basan en experimentos realizados a 1.296 jóvenes en cámaras térmicas donde la vestimenta, la actividad realizada y la exposición a varios ambientes térmicos, demostraban que la población indicaba su confort con base a siete puntos de sensación térmica siendo representado de (-3) a (+3) como negativos por sensación de frío y positivos por sensación de calor, calificando el (0) como una posición neutral (Chrenko, 1980).

Este modelo Fanger combina la teoría de balance térmico con la fisiología y la termorregulación, determinando rangos de confort para los ocupantes del edificio con temperaturas adaptables. Fanger observó que el sistema termorregulador del hombre es mucho más eficiente debido a su capacidad de crear un ambiente en confort, incluso con variables climáticas, donde el equilibrio térmico no contaba con condiciones de confort. El cuerpo se adapta de forma rápida o lenta dependiendo del ambiente en el que se encuentre, de acuerdo con las teorías planteadas por Fanger, el cuerpo emplea mecanismos de defensa fisiológicos hacia el ambiente como la vasodilatación, la sudoración y el temblor del cuerpo con el objetivo de balancear la temperatura interna (Castilla et al., 2010).

Estos métodos PMV y PPD descubiertos por Fanger, creó un inicio en las teorías relacionadas con el confort térmico y la valoración térmica en ambientes interiores como oficinas de trabajo: Sin embargo, se trata de un modelo estacionario, por lo tanto, no tiene en cuenta las variaciones de temperatura a lo largo del día, que es resultado de investigaciones en cámaras térmicas y que solo es aplicable a humanos expuestos a un largo periodo en condiciones constantes y con una tasa metabólica constante (Chrenko, 1980).

2.1.3 Acceso solar

Según Franco & Bright (2016) con el objetivo de aprovechar la energía del sol, el dueño de una propiedad debe tener acceso a la luz solar y a instalar un sistema recolector de energía que pueda utilizar. En consecuencia, la consideración del acceso solar en los Estados

Unidos se apoya en las servidumbres solares (Solar Easement Law), que se ocupan del acceso a la luz solar y los derechos de solares (Solar Rights Act of 1978), que soportan el derecho a instalar un sistema recolector de energía solar.

El acceso solar a un edificio está determinado por cuatro factores: la latitud, la pendiente del terreno, su forma y la orientación. El acceso solar para una ciudad (o cualquier otro entorno urbano) se encuentra determinado por tres factores adicionales como la altura de las edificaciones, la proporción de las calles y la orientación de las mismas (Franco & Bright, 2016).

Actualmente existen dos grandes enfoques para las reglamentaciones de acceso solar: el método de actuación (horas mínimas de asoleación) y el método descriptivo (proyección de sombras que buscan establecer las alturas máximas para las edificaciones). Según la regulación de acceso solar y los derechos solares se pueden aplicar tres niveles sobre la base de los dos enfoques mencionados anteriormente:

• El nivel básico, Apoyado en el enfoque del rendimiento, el cual define la cantidad requerida de radiación solar para cada orientación, ubicación urbana y zona climática.

• El segundo nivel, basado en el enfoque de rendimiento. Indica las horas de insolación que cumplan los requisitos de captación de radiación solar

• El tercer nivel es el método descriptivo. En este se presenta el empleo de las líneas de sección solares como una herramienta simple para garantizar el acceso solar y los derechos solares. (Cuadros & Moreno, 2019).

2.2 Marco Conceptual

A continuación, se presentan los principales conceptos relacionados con el cuerpo teórico del presente proyecto y que se enuncian para el desarrollo del tema aquí planteado.

2.3. Acceso Solar:

Es la continua disponibilidad de luz solar directa que posee una edificación y sin obstrucción de otra de propiedad.

- **Confort higrotérmico:**

Son los factores de humedad, temperatura y ventilación de los espacios habitados y se relaciona directamente con las características de la vivienda, con el clima del entorno y con los habitantes (Franco & Bright, 2016).

- **Requerimientos Ambientales Interiores:**

En el caso de los espacios climatizados, toda construcción debe satisfacer dos requerimientos: reducir la radiación solar directa que incide en la fachada y penetra por las ventanas, y a la vez, favorecer el cumplimiento de los requisitos de iluminación natural interior, dejando penetrar la cantidad necesaria de radiación difusa (Couret & Cabrera, 2014)

- **Sombra:**

Las superficies que no quedan expuestas al Sol en una hora determinada están en sombra. La sombra propia es la superficie real que está sin recibir iluminación directa de la fuente radiante de luz (Cuadros & Moreno, 2019).

- **Técnicas pasivas de climatización:**

Es cuando la energía transferida para y desde el edificio, se da por medio de un proceso natural, por conducción, convección y radiación, donde intervienen los componentes del edificio, tratando de que la intervención de sistemas mecánicos externos sea mínima (Cuadros & Moreno, 2019).

2.4. Design Builder

Design Builder, que será el software que se utilizará en el estudio, es un programa especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Realizando la simulación de un edificio en este programa se pueden evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de CO_2, entre muchos otros. Se ha seleccionado este programa debido a su amplia capacidad de simulación que permite diseñar desde avanzadas estrategias de envolvente (invernaderos, ventilación natural, sombreados, masa térmica iluminación natural, etc.) hasta complejos sistemas de climatización (VAV, VRV, geotermia, etc.). Este programa no está reconocido como documento para la certificación

energética, pero permite dibujar modelos muy complejos y detallados e incluye herramientas que los programas anteriores no tienen como puede ser la ventilación natural o el análisis de la dinámica de fluidos del interior de la vivienda.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

En el presente trabajo se parte de un estudio de bibliografía específica relacionada, de manera genérica en búsqueda de trabajos relacionados con la simulación energética de edificios variando el material envolvente. De esta forma, estos libros se convertirán en una guía donde acudir a la hora de revisar conceptos y estrategias metodológicas aplicadas al presente trabajo, así mismos textos, libros, normativa, y artículos indexados. Partiendo de la metodología establecida se realiza establecen tres etapas de desarrollo de trabajo. Como primera etapa llamada “planificación de diseño” se realiza un análisis de los materiales constructivos y así mismo los materiales aplicables como envolventes, agregado a esto se realiza la caracterización del modelo madre a simular para aplicar las diferentes envolventes. Como segunda etapa establecida para las simulaciones se construye inicialmente una matriz de simulación para establecer los modelos a simular y posterior a analizar. Finalmente, en a la etapa tres se realiza un análisis comparativo donde se relacionan las temperaturas de las diferentes modelos para establecer su diferencia y establecer la de mejor comportamiento. Es así que en la Figura 2 Metodología de muestra de modo grafico las etapas de desarrollo de la investigación.

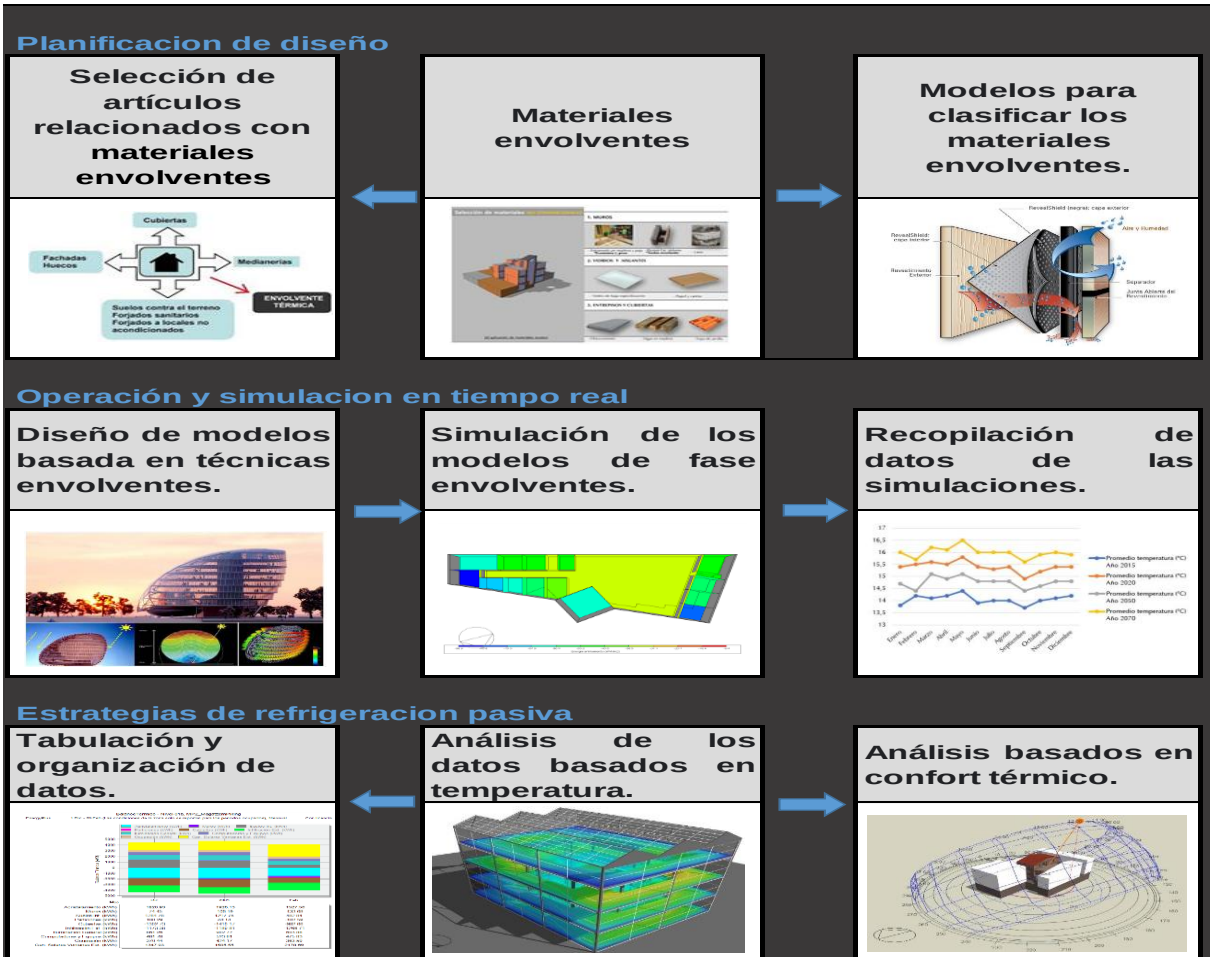


Figura 2 Metodología

Por otra parte, se establecen las actividades a realizar en cada una de las fases como se muestra en la Figura 3.

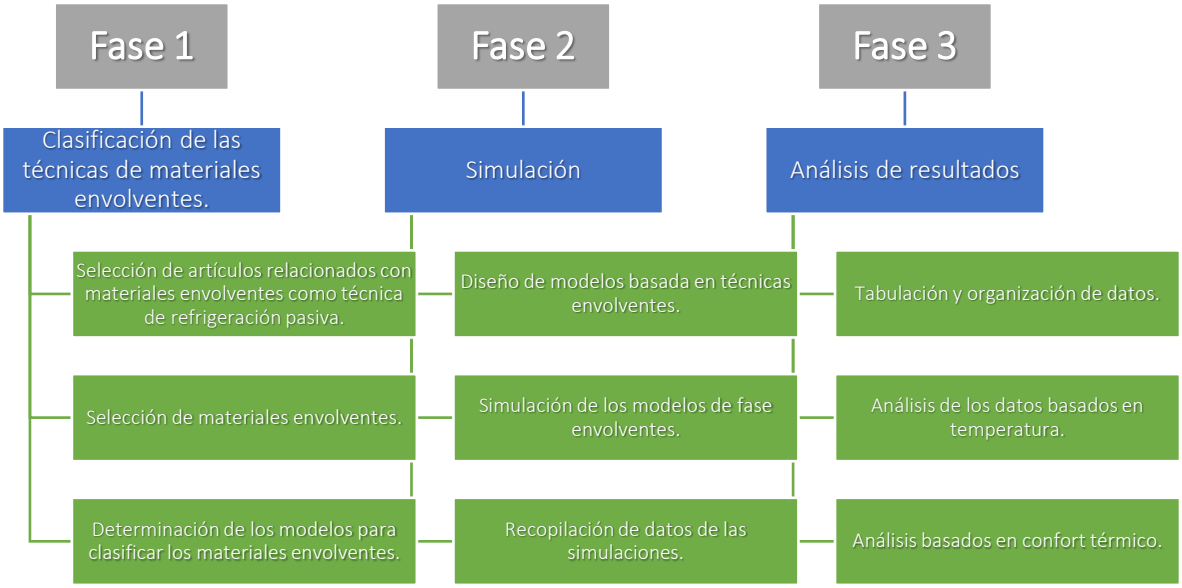


Figura 3 Actividades realizadas en cada fase

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Un país en crecimiento requiere compensar su demanda de energía consumida por cada uno de los diferentes sectores. Entre ellos el sector de la construcción consumen la mitad del suministro eléctrico de cualquier país. En regiones cálidas, tropicales y húmedas como el caso de algunas ciudades de Colombia, el requerimiento de energía para el aire acondicionado de los edificios es vital para mantener el confort térmico habitacional. Por lo tanto, es necesario construir y rehabilitar edificios energéticamente eficientes. Las tecnologías de energía alternativa, como el acristalamiento de las fachadas de los edificios, mejoran la comodidad en los edificios sin aire acondicionado (Nowak et al., 2016). Se han llevado a cabo muchos estudios de simulación en edificios ventilados para encontrar la mejora en el rendimiento térmico(Ma et al., 2021).

Los materiales tanto constructivos como envolventes tiene un papel importante en la conservación de la energía en cualquier campo. Los diferentes materiales sean aislantes, materiales de revestimiento reflectante, pigmentos y aditivos en pinturas, materiales de cambio de fase, nanopartículas y materiales de almacenamiento de energía térmica se emplean para lograr el mismo objetivo de refrigerar o calentar una edificación. Por lo tanto, en esta primera etapa se realiza, una revisión de los materiales de conservación de energía para los edificios. Asi mismo también se estudian recursos energéticos alternativos y materiales novedosos para conservar la energía y satisfacer la demanda de energía (Jayaram et al., n.d.; Karazhanov & Kharton, 2018; Montero et al., 2018).Es asi que para esta etapa se analizaran los materiales que actualmente se usan como envolventes a nivel de arquitecturas verdes.

4.1. Tecnologías de techo para refrigeración

La radiación directa del sol que se tiene en los techos y parte superior de las edificaciones se convierte en calor el cual este calor debe volver a irradiarse al cielo, de lo contrario, se conducirá al interior del espacio de los ocupantes. Esto conducirá generar disconfort, aumento de la carga de calor en los edificios, convirtiendo esto en aumento de la demanda de energía. Las técnicas de enfriamiento pasivo para la prevención del calor se centran principalmente en la reducción de la temperatura del aire. Esto se puede combatir mediante la pérdida por radiación, la pérdida conductiva, la reducción de la masa térmica, el suministro de microclima y el enfriamiento del suelo.

Los edificios están directamente en contacto con el aire atmosférico y el suelo (tierra). Los edificios actúan como un intercambiador de calor aire-tierra de contacto directo. La vegetación, el paisajismo y la provisión de espejos de agua son las técnicas para brindar microclima. El sombreado, la radiación del cielo nocturno, la apertura, el acristalamiento son otras técnicas de enfriamiento pasivo. El uso de materiales de cambio de fase en los techos, paneles de pared y techos es una de las técnicas efectivas para reducir la ganancia de calor(Arce et al., 2011). Los techos oscuros tienden a absorber más del 90% energía solar entrante, mientras que los techos fríos pueden absorber menos del 50 % (Arce et al., 2011) (*Cool Roofs | Department of Energy*, n.d.). La combinación de materiales de almacenamiento de energía térmica con materiales de construcción podría ser una forma de reducir las ganancias de calor internas(Heier et al., n.d.).

4.2. Tipos de materiales utilizados en el sector de la construcción.

La reducción de las ganancias de calor en los edificios a través de las paredes, techos y techos juega un papel importante entre las diferentes técnicas de refrigeración pasiva (Taleb, 2014). Los diferentes materiales aislantes, materiales

de revestimiento reflectante, pigmentos y aditivos en pinturas, materiales de cambio de fase, nanopartículas y materiales de almacenamiento de energía térmica se emplean para lograr lo mismo.

4.2.1. Materiales de construcción

Los materiales de construcción son productos, subproductos y materias primas utilizadas en la producción de edificios y equipos. Sus propiedades y características son determinantes para determinar la calidad física del edificio en sí, así como los métodos de construcción, equipos y mano de obra necesarios para su desarrollo. A menudo, las "materias primas" son elementos que la naturaleza proporciona para el trabajo, es decir, materias primas. Por el contrario, los productos hechos por el hombre, ya sean hechos a mano o con máquinas, se denominan productos. Yeso, cemento, vidrio, vinilo, ladrillo son ejemplos típicos de materiales de construcción, mientras que arena, arcilla, agua, yeso, madera (sin tratar) y piedra son ejemplos típicos de materias primas(Ramakrishna Balaji et al., 2022).

4.2.2. Materiales de aislamiento

Los materiales aislantes son materiales utilizados en la construcción para resistir la transferencia de calor o frío; dependiendo de sus propiedades, unos resisten en mayor medida esta transferencia de calor y otros en menor medida. En definitiva, son los encargados de evitar la transferencia de grados del exterior al interior para mejorar la eficiencia energética. A la hora de elegir los materiales de aislamiento térmico para proteger tu hogar de los cambios de temperatura, encontrarás que existe una gran variedad de materiales (sintéticos, naturales, minerales…) y formas (láminas, rollos, granza…). Es importante entender sus características para elegir un producto que proporcione la mejor eficiencia energética; es decir, cuál usar para bajar la factura de la calefacción y el aire acondicionado y conseguir un mayor confort(Zeng et al., 2022).

La selección del tipo de materiales de aislamiento es muy importante en el momento de refrigerar o calentar de manera pasiva una vivienda. Para esto, se debe tener presente el trabajo de los distintos materiales de aislamiento. Los materiales aislantes como el poliestireno expandido, la fibra de vidrio, la espuma de poliuretano y el poliestireno extruido se emplean comercialmente como envolventes de edificios. Es así que en la muestra la clasificación de algunos de los materiales aislantes utilizados en los sectores de la construcción.

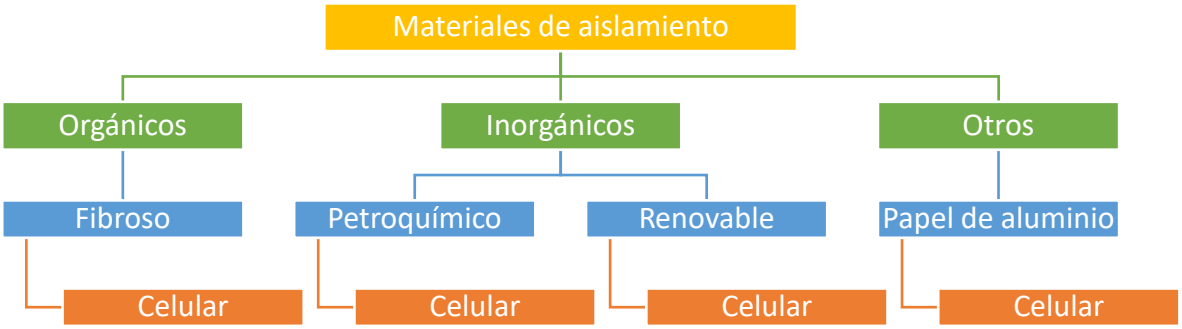


Figura 4 Clasificación de los materiales aislantes envolventes.

Por otra parte, en la Tabla 1 Tipos de aislantes térmicos se presenta algunos de los materiales aislantes usados en la industria de la construcción (*Tipos de Aislamientos Térmicos · LEROY MERLIN*, n.d.).

	Poliuretano
	Poliestireno Alto desidad
	Poliestireno Baja densidad
	Fibra Vegetal
	Lana de roca
	Lana de vidrio
	Celulosa
	Corcho
	Virutas de madera
	Perlita expandida
	Fibras de coco
	Madera

Tabla 1 Tipos de aislantes térmicos

4.3. Identificación del Software

La metodología para analizar el comportamiento interno de la temperatura de una edificación se realizará por medio de un software inicialmente se ubica en la herramienta la edificación de estudio en la posición geográfica con la latitud y longitud de la zona de estudio. El análisis de envolventes en la fase de la construcción o rehabilitación arquitectónica es una estrategia para reducir el consumo energético (Pawar & Kanade, 2018) y garantizar el confort térmico habitacional (Aram & Alibaba, 2019b; Esabegloo et al., 2016) (Moussa & Moawad, 2020; Valladares-Rendón et al., 2017), así mismo es importante la orientación, la y la relación entre la pared y ventanas o para identificar el balance de

energía por Ganancia Solar Directa, así como los requisitos de carga de energía para el aire acondicionado (Sokkar & Alibaba, 2020).

Las herramientas de análisis de térmico energético permiten evaluar el efecto de la incidencia solar en los edificios y sus cargar térmicas internas, así mismo, el costo de la climatización si se llegara a necesitar partiendo del confort térmico calculado (Aram & Alibaba, 2019a)(Kirimtat et al., 2019).

Para el presente caso se utilizará Design Builder, el cual es un software experto en la simulación térmico energética de edificios. Que por sus cálculos permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono. Concebido para facilitar los procesos de simulación(Gestor energetico, n.d.).

4.4. Selección zona de caso de estudio

Con el fin de establecer la zona de trabajo y definir los criterios de selección como vivienda unifamiliar se define la zona climática como cálido seco. Seleccionado una casa ubicada en la Ronda, Bucaramanga, Santander (ver Figura 5).

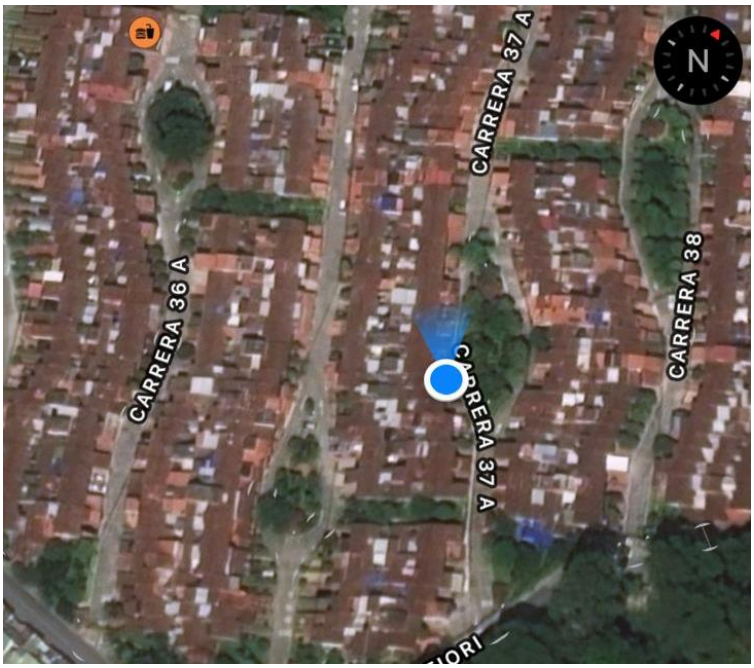


Figura 5. Localización y Orientación de la vivienda.

El modelo a estudiar cuenta un área total de 126 m^2 distribuidos en dos plantas. En la primera planta se compone de cocina, sala comedora, habitación principal con baño privado y las escaleras internas que conducen a la segunda planta. En el segundo piso se encuentran 2 habitaciones y un baño general. La información general sobre este edificio se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción general de la vivienda.

Parámetros básicos	**Especificación**
Ubicación	7°08′N 73°08′O
Área Total	126 m^2
Altura De La Vivienda	2,5 metros en cada piso
Estructura	ladrillo/cemento/estuco

4.5. Modelado en software

Con la selección del software de trabajo, la simulación de la casa se realiza mediante el software Design Builder con el cual se obtendrán la temperatura interna de a vivienda y las horas de confort y disconfort con la simulación de cada una de las envolventes seleccionadas. Como base se ha utilizado el modelo 3D de la vivienda de la Figura 10 el el cual se ha introducido los límites de la casa y los edificios colindantes utilizando la herramienta de bloque de componente para que el programa tenga en cuenta las sombras y adyacencias adiabáticas.

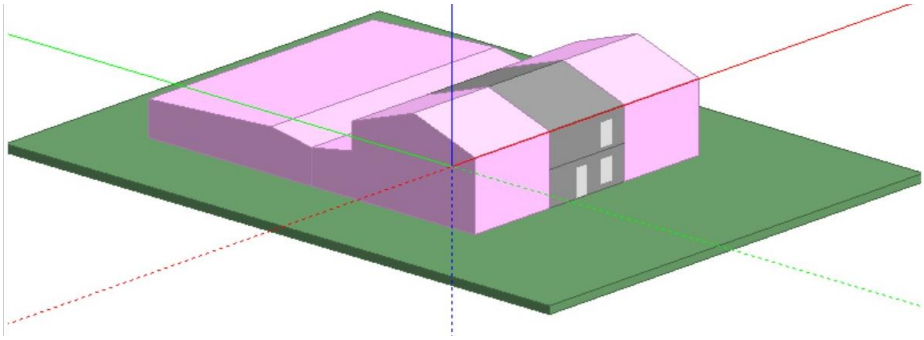


Figura 6 Modelo simétrico 3D (Design Builder)

Una vez creada la geometría básica de la vivienda y el entorno, se ha indicado la nueva ubicación del edificio y se le han asignado los datos climáticos correspondientes a la zona es ese caso es la climatología de Bucaramanga Santander.

4.5.1. Estructura

Teniendo la geometría y el entorno físico de la vivienda se realiza la caracterización de los materiales constructivos de la vivienda, que para este caso se utilizan muros de ladrillo convencional, para los muros exteriores como para lo muros de partición. Presentando sus características térmicas en la Tabla 3 Valores térmicos calculados de los cerramientos.

Superficie interior	
Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²-K)	2,152
Coeficiente de transferencia de calor por radiación (W/m²-K)	5,540
Resistencia superficial (m²-K/W)	0,130
Superficie exterior	
Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²-K)	11,537
Coeficiente de transferencia de calor por radiación (W/m²-K)	5,130
Resistencia superficial (m²-K/W)	0,060
Sin Puentes Térmicos	
Valor U de superficie a superficie (W/m²-K)	3,600
Valor R (m²-K/W)	0,468
Valor U (W/m²-K)	**2,138**
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
Espesor (m)	0,2000
Km - Capacidad térmica interna (KJ/m²-K)	161,2800
Límite superior de resistencia (m²-K/W)	0,468
Límite inferior de resistencia (m²-K/W)	0,468
Valor U de superficie a superficie (W/m²-K)	3,600
Valor R (m²-K/W)	0,468
Valor U (W/m²-K)	**2,138**

Tabla 3 Valores térmicos calculados de los cerramientos (Design Builder)

4.5.2. Actividad

El primer parámetro definido es la densidad de ocupación. Como se trata de una vivienda unifamiliar se ha supuesto que la vivienda estará habitada por un núcleo familiar de cuatro personas por lo que la densidad de ocupación es de 0,031 personas/m^2. Junto con la densidad de ocupación se ha creado una programación para determinar la ocupación que habrá en la vivienda durante todo el día. Para ello se han diferenciado los días laborables y los festivos, este porcentaje se distribuye como se muestra en la Figura 7 .

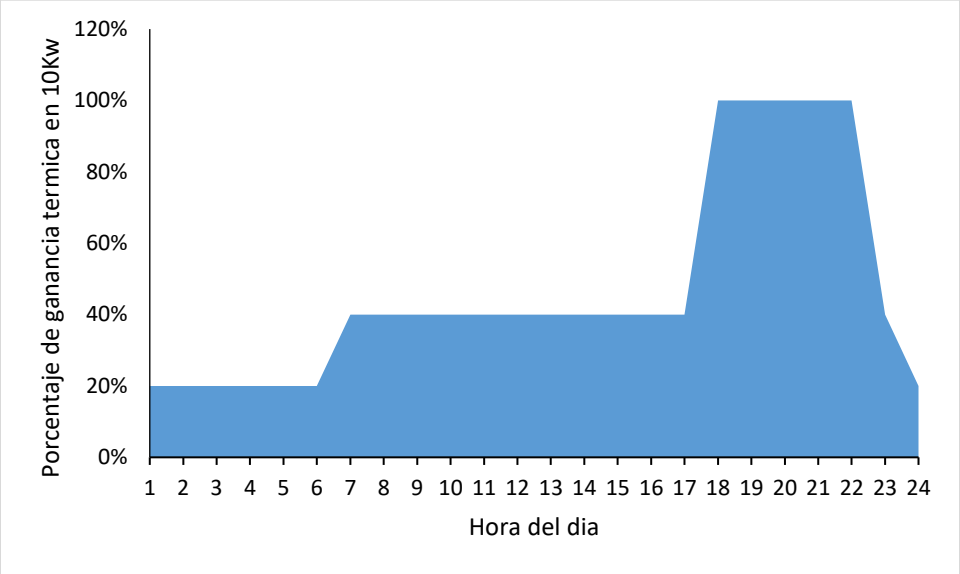


Figura 7 Porcentajes de ocupación por horas del dia.

Por otra parte, por tratarse de una zona climática cálida seca y tropical no se hace necesario los cálculos de ganancias térmicas por ASC ni HVAc. Así mismo las consignas de refrigeración se muestran en la

Tabla 4 Set Point refrigeración.

Temperatura de refrigeración	
Consigna	**Consigna secundaria**
24°	26°

Tabla 4 Set Point refrigeración

4.5.3. Cerramientos

Se han añadido las características de los cerramientos definidos y para ello se han utilizado los materiales de la biblioteca de Energy Plus. Los materiales que no se han encontrado en dicha biblioteca se han creado añadiendo sus características (conductividad, calor específico y densidad). Los cerramientos se han creado añadiendo capas de materiales, desde la capa externa hasta la más interna, y fijando el espesor de cada una.



Figura 8 Definición de cerramientos (Design Builder)

En este apartado se han definido los puentes térmicos lineales anteriormente calculados y se ha fijado la estanqueidad al aire con 0.3 renovaciones / hora.

4.5.4. Aberturas

Se ha definido el tipo de acristalamiento (transmitancia y factor solar) y las características de los marcos y divisorios (transmitancia). Para ello se ha creado un tipo de acristalamientos con de marco de aluminio (oscilobatiente y corredera). El tipo de marco para ventana corredera está situado en los huecos de la galería. (Ver Figura 9 Configuración de acristalamientos)



Figura 9 Configuración de acristalamientos (Design Builder)

5. RESULTADOS

5.1. Simulación

5.1.1. Modelo 3D

Inicialmente, se ha realizado el modelo 3D de la envolvente de la vivienda actual y para ello se han diseñado la vivienda de caso de estudio unifamiliar con dos plantas. El primer bloque para la planta baja, el segundo para la segunda. Para simular los diferentes revestimientos que tiene la vivienda en el exterior, el muro de la puerta de entrada y la cubierta inclinada se ha utilizado la herramienta de bloques de componente. Estos bloques sólidos permiten crear formas geométricas más complejas que los bloques de edificio y de esta manera se pueden añadir accesorios al edificio sin añadir zonas térmicas. El programa tiene en cuenta la barrera solar que crean estos bloques, así como la inercia térmica en función de su composición. Una vez modeladas las fachadas se han dibujado los huecos de la vivienda, manteniendo la geometría de la vivienda. En la Figura 10 Modelo del Vivienda caso de estudio. Se presenta el diseño geométrico y espacial del caso de estudio.

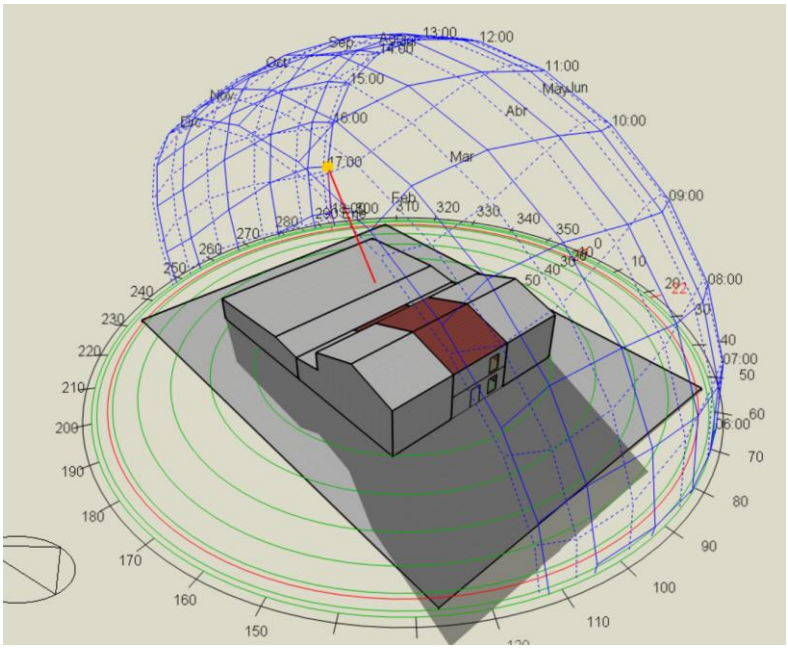


Figura 10 Modelo del Vivienda caso de estudio. (Design Builder)

5.1.2. Climatología

De la misma manera se establecen las condiciones climáticas como parámetro de datos de entrada de la simulación, para este caso se establece la ubicación de la ciudad de Bucaramanga usando los datos climatológicos validados desde una estación meteorológica ubicada en sitio. En la Figura 11 Datos climáticos del modelo se presenta el comportamiento mes a mes en la zona de estudios, presentando la radiación tanto difusa como directa, la velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura y humedad.

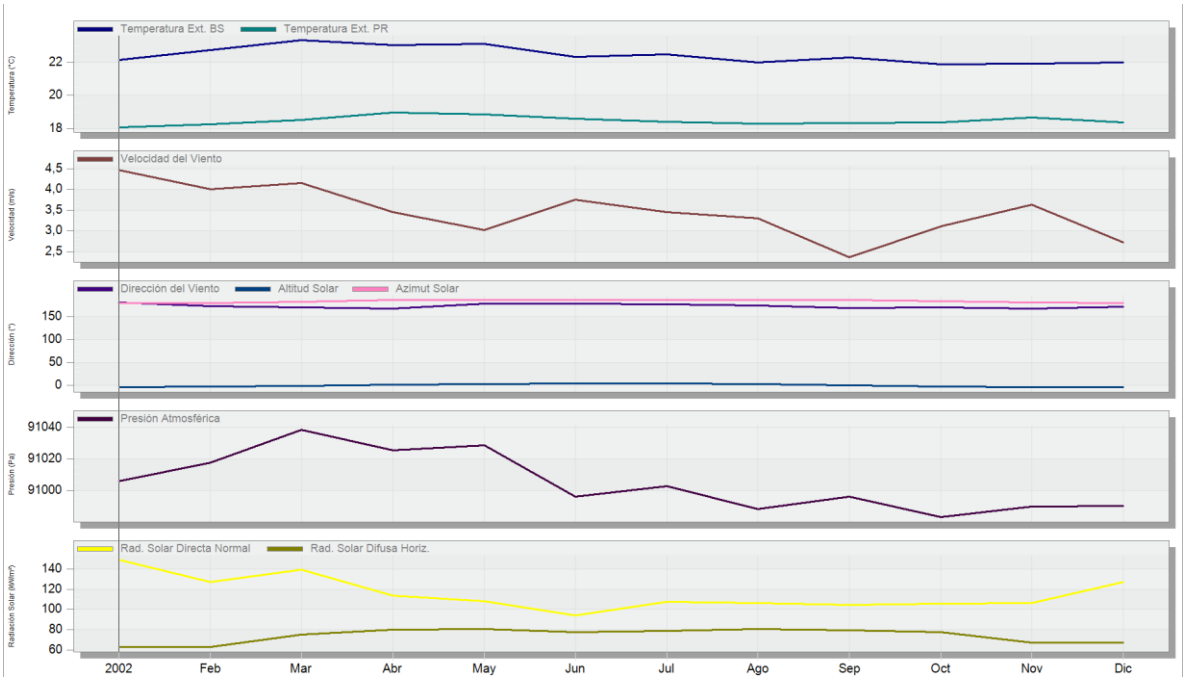
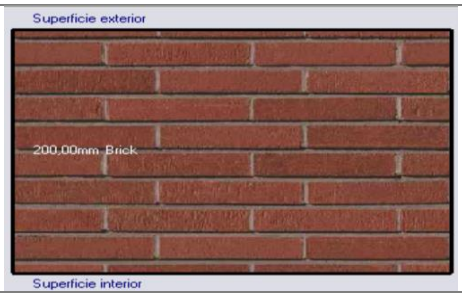


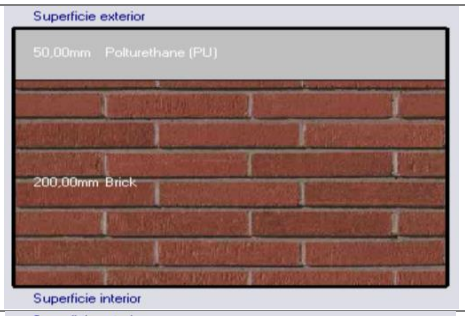
Figura 11 Datos climáticos del modelo. (Design Builder)

5.1.3. Solución pasiva

Para iniciar con las simulaciones se construye una matriz de la construcción de los modelos a simular, el cual se realizará aplicando los envolventes encontrados y presentados anteriormente (ver Tabla 1). En la Tabla 5 de secuencia de simulación de los de los modelos creados para analizar en comportamiento térmico internos y sus horas de disconfort.

Tabla 5 Modelos de simulación

MODELO	MATERIAL (ENVOLVENTE)	ANCHO (m)	
1	NADA	0,05	

2	POLIURETANO	0,05	
3	POLIURETANO	0,1	
4	POLIURETANO_CONCRETO	0,05	
5	POLIESTILENO_ALTO	0,05	
6	POLIESTILENO _BAJO	0,05	

7	FIBRA VIGETAL	0,05	
8	LANA DE ROCA	0,05	
9	LANA DE VIDRIO	0,05	
10	CELULOSA	0,05	
11	CORCHO	0,05	

12	POLVO DE MADERA	0,05	
13	PERLITA EXPANDIDA	0,05	
14	FRIBAS DE COCO	0,05	
15	LAMINAS DE MADERA	0,05	

5.1.4. Simulación de modelos base

Como parámetro comparativo se realiza la simulación del modelo base para compararlo las simulaciones de las diferentes envolventes. Para este caso el modelo base es el modelo es le modelo numero 1 de la Tabla 5 Modelos de simulación, el cual este modelo se compones

los materiales caracterizados de la vivienda de caso de estudio, este modelo se compone de ladrillo y cemento de 200mm de grosor.

En la simulación base se establecen las temperaturas del aire y radiante, así como la temperatura operativa y la temperatura de bulbo seco exterior. Para este caso se observa que la temperatura del aire presenta un comportamiento igual en los promedios de los meses del año analizados estas temperaturas oscilan entre los 28 y los 32°C. asi mismo se analiza el comportamiento promedio de la humedad relativa que es una variable influente en el análisis del confort térmico, donde se observa en la Figura 12 el promedio mes a mes teniendo en el mes de marzo su punto mínimo y el mes de noviembre sus puntos máximos. Finalmente se presenta las horas de disconfort térmico totales de cada mes. Donde en todos los meses se presentan horas de incomodidad térmica superior a 250 horas mensuales.

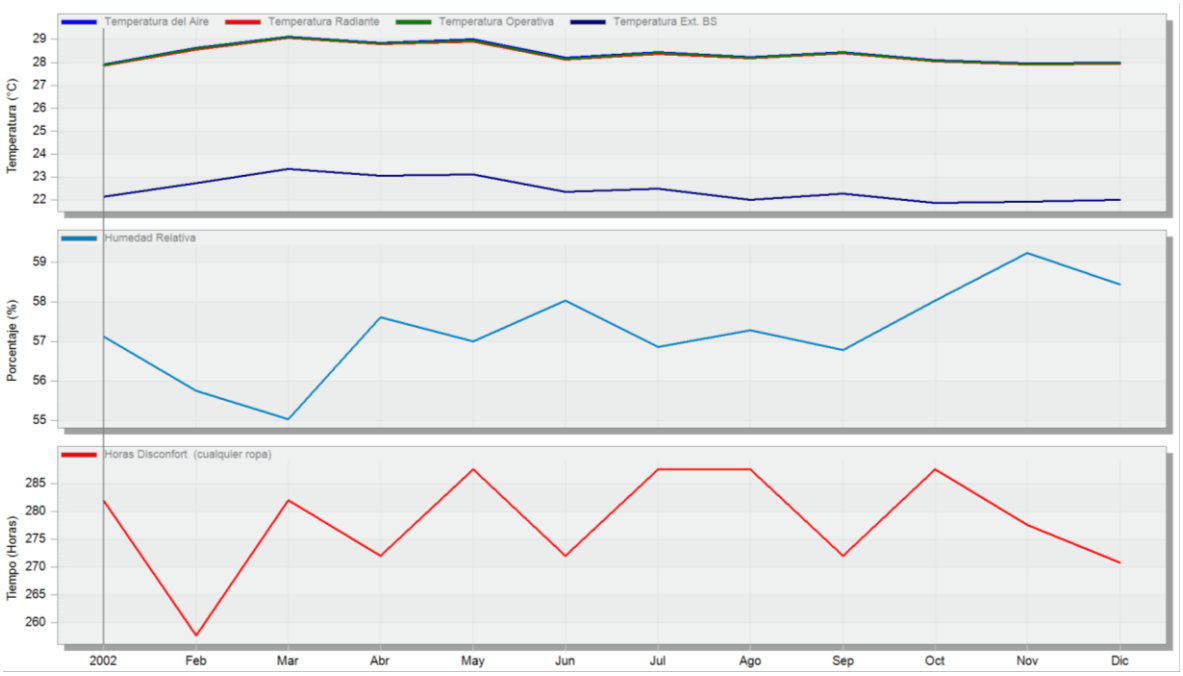


Figura 12 Análisis de Confort térmicos mes a mes. (Design Builder)

De la misma forma se presenta la Figura 13 donde presenta el comportamiento horario de las temperaturas operativas, radiante, de aire y de bulbo seco. Mostrando que la

temperatura operativa es superior en todo momento. Así mismo la humedad presente un comportamiento variable presentando picos mínimos de 40% y picos máximos de 80%.



Figura 13 Confort térmico habitacional hora-hora por periodo de simulación. (Design Builder)

Las ganancias térmicas expresadas en KW/h se presenta en mayor parte por el techo de la vivienda con valores entre los 150 y 220KW/h aproximadamente. Seguido de los muros y el suelo con un promedio de 50KW/h. Por otra parte la ventilación externa para la renovación de aire por hora se encuentra entre 0,5 y 1,2 m/s, como se muestra en la Figura 14

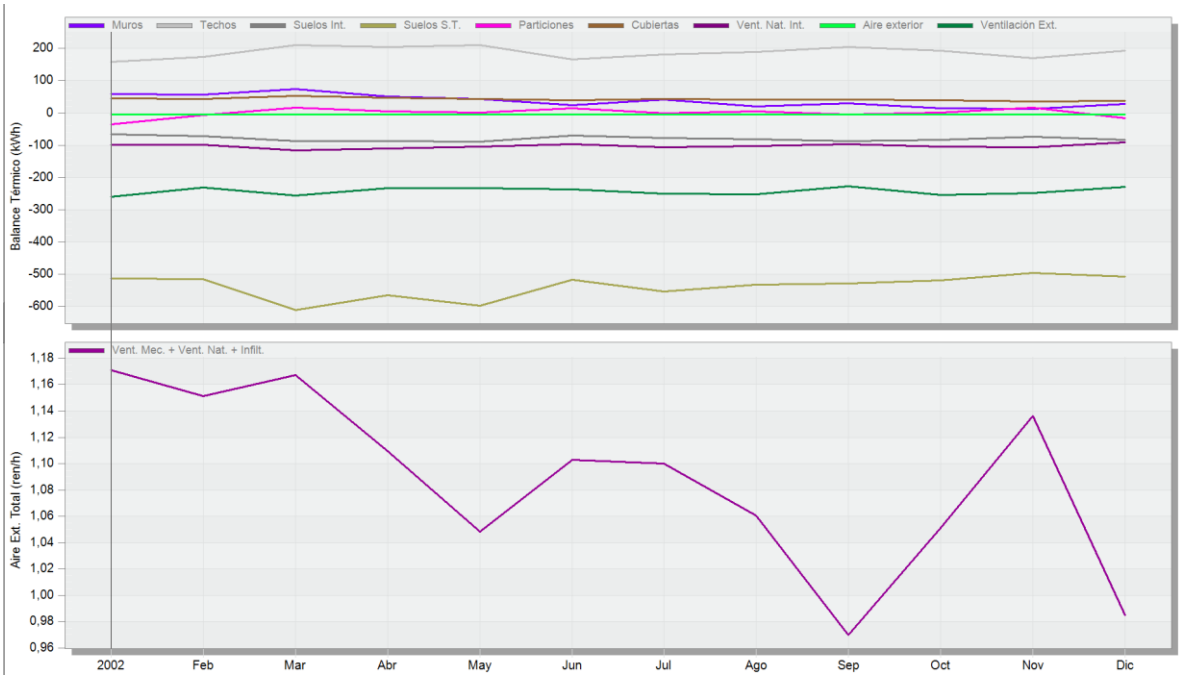


Figura 14 Balances térmicos de la ventilación (Design Builder)

5.2. Simulación de modelos con envolventes

Para analizar el comportamiento de cada una de las envolventes se hace la caracterización del material a evaluarlas como envolventes y así realizar la simulación con los parámetros climáticos establecidos para todos los modelos. Para esto se toma como referencia el modelo base y se compara con cada uno de los modelos simulados.

La simulación se realiza con 29 modelos y cada modelo arrojando 8760 datos de temperatura interna por simulación y 8760 datos del análisis de disconfort térmico, para un total de 17520 datos analizados por simulación, donde se aplican las envolventes presentadas anteriormente, pero evaluadas desde ubicándolas como capas interiores y así mismo como capas exteriores para establecer si su ubicación genera alguna incidencia en el comportamiento térmico interno.

En la Figura 15 Temperatura promedio por modelo, presenta el promedio de temperatura calculado en los 8750 datos calculados por simulación representando las horas del año simulado. Donde representan todos ellos una disminución de temperatura con referente al

modelo base. Así misma también se evidencia que no hay influencia al ubicar la envolvente tanto en el exterior como en el interior de la estructura ya que presentara el mismo comportamiento de temperatura interna.

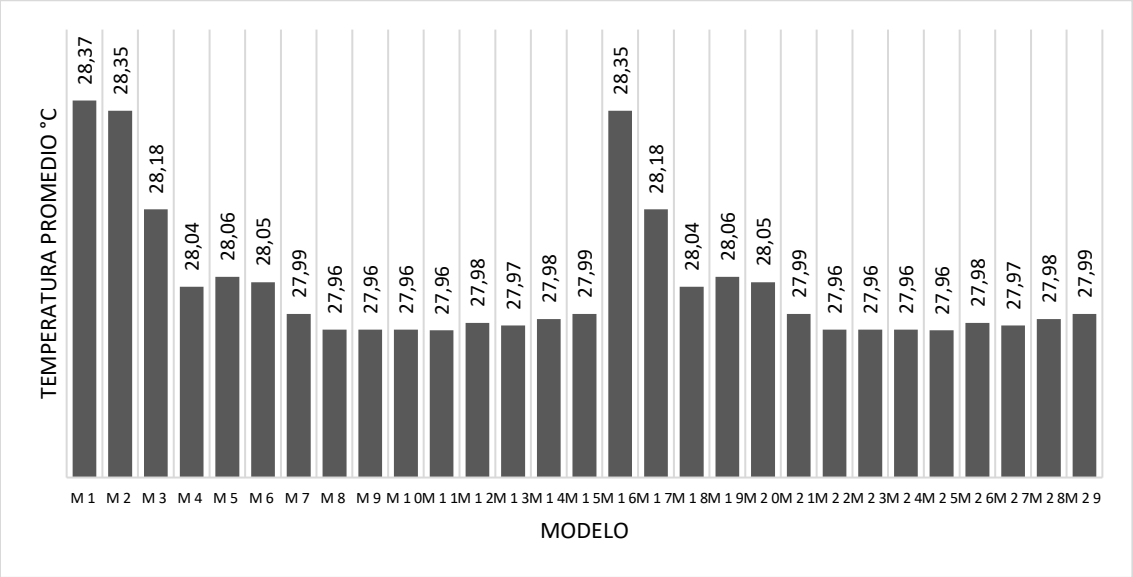


Figura 15 Temperatura promedio por modelo

La temperatura promedio de los modelos por material se presenta en la Figura 16 donde se presenta los 15 modelos iniciales, los cuales se presenta una temperatura promedio mínima de 27,96 °C en los modelos de 8 hasta el 11, pero por una diferencia de 0,02°C se presenta los modelos 12 al 15, esto reflejando un comportamiento similar en la temperatura interior.

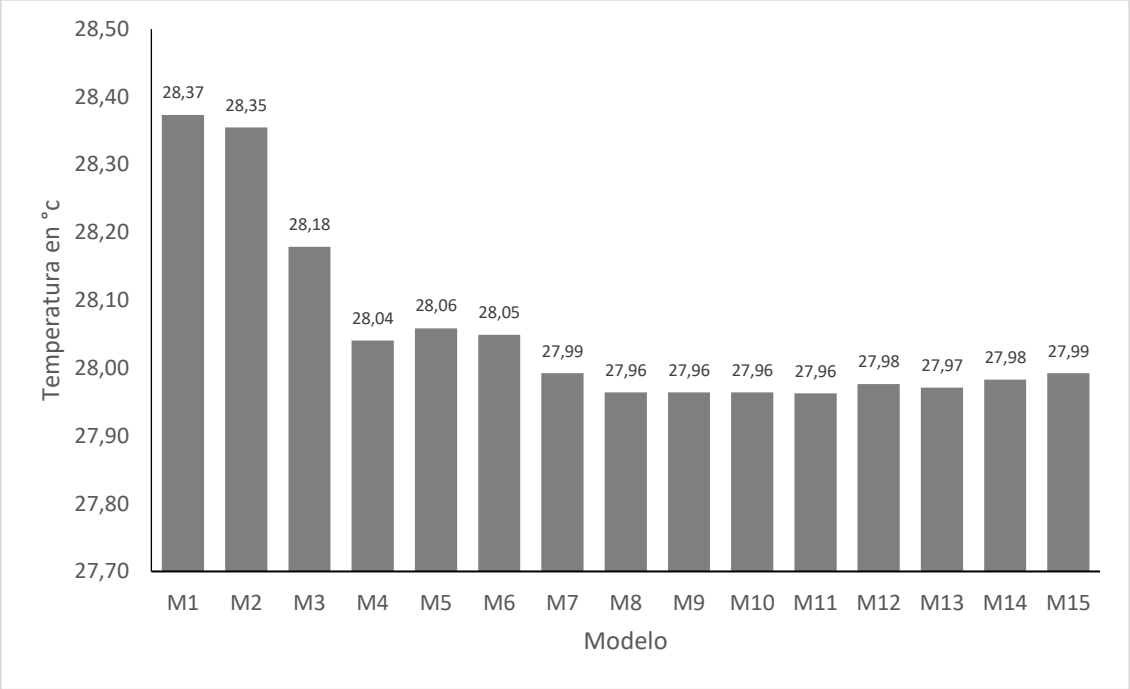


Figura 16 Temperatura promedio por Material.

Se realiza la comparación del porcentaje de diferencia de reducción de temperatura en la Figura 17 para identificar cual genera un mejor efecto de refrigeración. Es así que se evalúan las envolventes por material, estas presentando un porcentaje de reducción entre 0,05% y 1,44%. Donde los modelos del 8 al 11 presenta un mejor porcentaje de refrigeración en 1,44%.

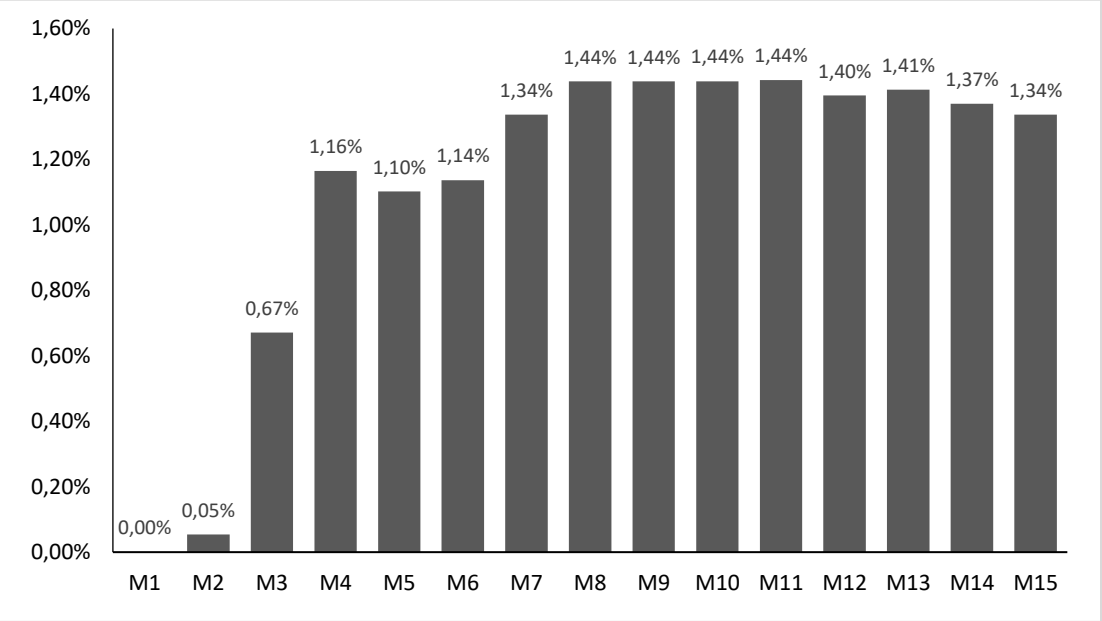


Figura 17 Porcentaje de diferencia de temperatura entre el modelo base y modelos con envolventes

El disconfort es analizado por los resultados obtenidos en Design Builder el cual realiza sus modelos matemáticos basados en el PMV, el cual, es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles, basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano. El equilibrio térmico se obtiene cuando la producción interna de calor del cuerpo es igual a su pérdida hacia el ambiente. En un ambiente moderado, el sistema termorregulador tratará de modificar automáticamente la temperatura de la piel y la secreción de sudor para mantener el equilibrio térmico. Adicional a PMV, el PPD es un índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas que se sentirán insatisfechas por notar demasiado frío o demasiado calor. Para el propósito de esta norma internacional, las personas térmicamente insatisfechas son aquellas que votarán muy caluroso, caluroso, fresco o frío, sobre la escala de 7 niveles de sensación térmica. Es asi que el la software si obtiene la curva establecida en la Figura 18.

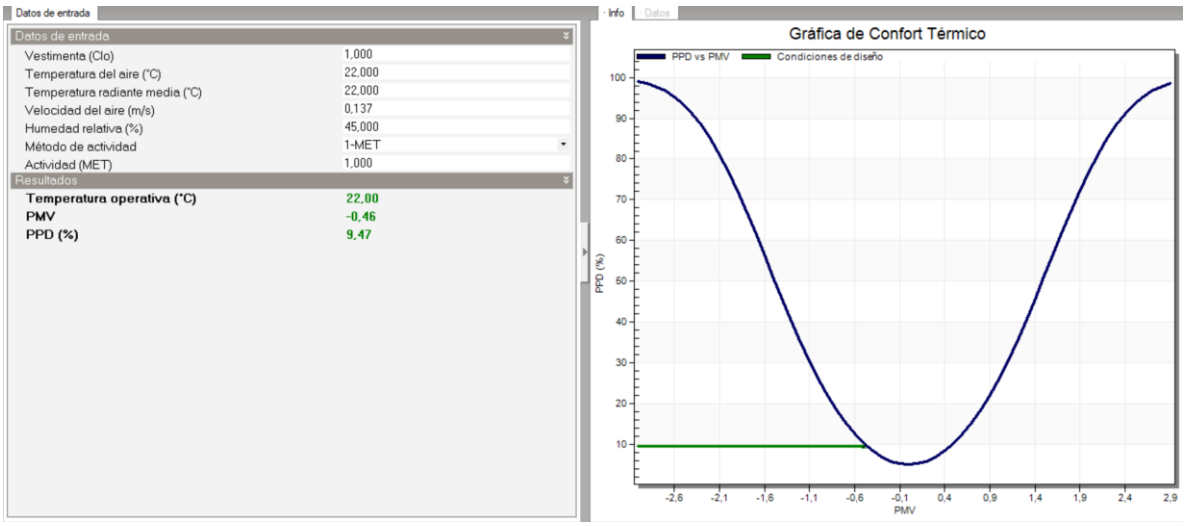


Figura 18 análisis de confort según PMV Vs PPD

Realizando la comparación de las horas de disconfort térmico en el año simulado se presenta en la mayoría de los modelos un valor igual en 3342 horas de disconfort, pero los modelos 2 y 16 disminuye en dos horas al resto de modelos presentando 3339 horas de disconfort. (Ver Figura 19 Comparativa Horas de disconfort.)

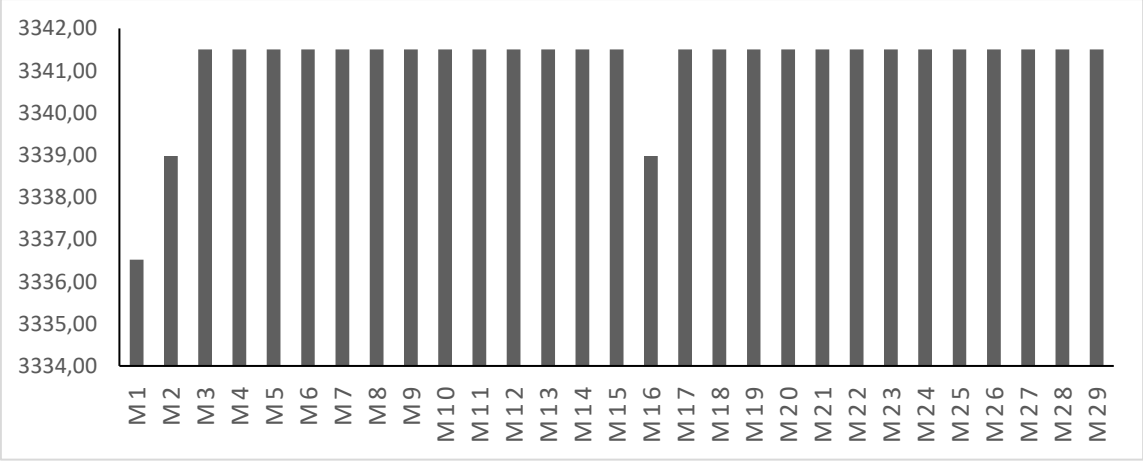


Figura 19 Comparativa Horas de disconfort.

Las horas de disconfort térmico tiene un comportamiento similar en todos los días y en todos los meses, en la Figura 20 se presenta el comportamiento del mes de mayo el cual

es el mes más caluroso, donde se da ilustra el comportamiento de las horas de disconfort hora-hora durante el mes.

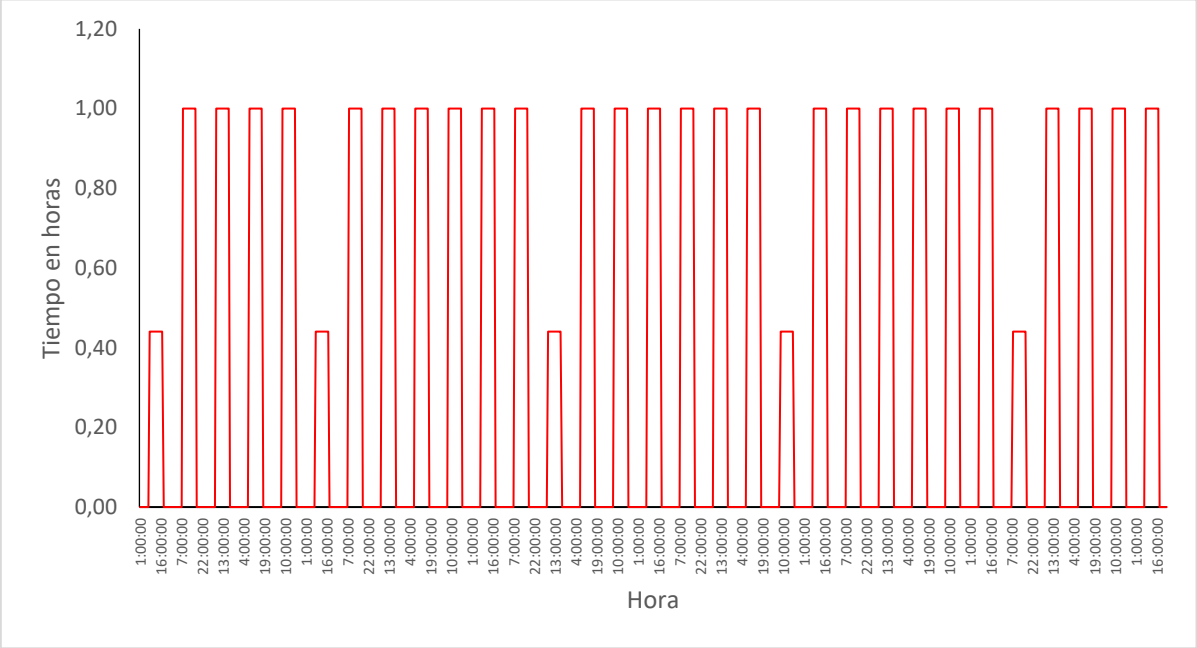


Figura 20 Horas de disconfort por mes.

Para analizar las horas que marcan tendencia en el disconfort térmico de los modelos se presenta la Figura 21 donde se marca las horas de incomodidad térmica interna presentes entre las 8:00 horas a las 19:00 horas del día, esto coincidiendo con las horas solares de la zona climática de estudio.

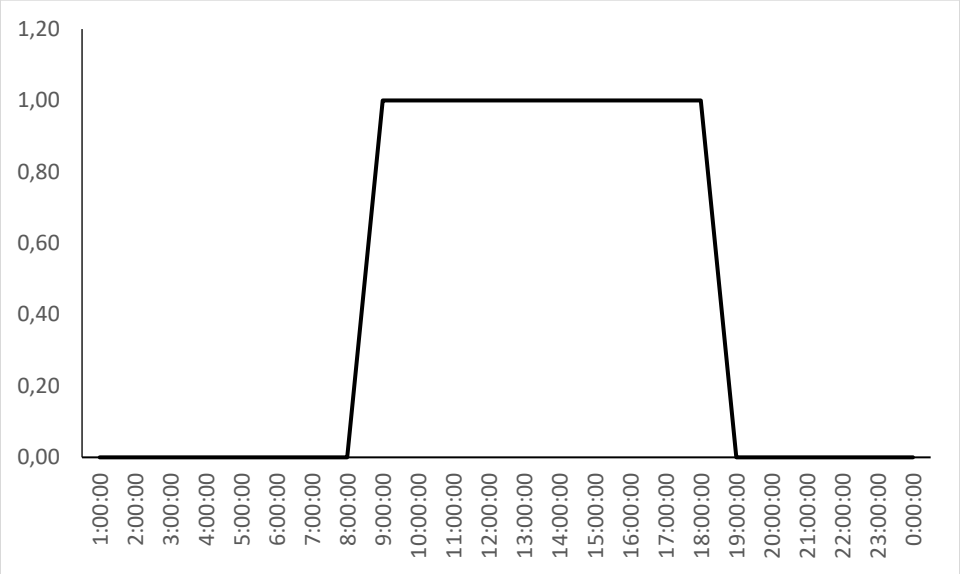


Figura 21 comportamiento por Horas de disconfort por día

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo tenía como objetivo comparar el comportamiento térmico interno de una vivienda de caso de estudio ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga, en el departamento de Santander, con zona climática cálido seco y tropical, variando el material envolvente en las superficies constructivas que sean comerciales y con aplicabilidad de aislamiento térmico.

El uso de simulaciones digitales permitió definir los materiales de envolvente con mejor desempeño térmico en las condiciones climáticas del área metropolitana de Bucaramanga en Santander, Colombia, que podrían ser usados en la construcción convencional por su fácil acceso comercial y su alta tendencia en la construcción de la zona. Estos materiales presentaron un valor la conductividad térmica similar lo que generara una transferencia de calor entre cada capa de superficie desde el exterior al interior de la vivienda simulada semejante, es así que se presentan diferencias de temperatura de las simulaciones entre el material constructivo convencional sin envolvente y con envolventes con una reducción máxima de 1,44% teniendo temperatura promedio inicial de 28,37°C reduciendo a 27,96°C (envolventes como celulosa, corcho, polvo de madera, perlita expandida fibras de coco, láminas de madera).

La metodología aplicada en esta investigación permitió determinar que los ocupantes de los espacios simulados en el modelo base están por dentro en el rango de confort térmico en un 61,96% el cual representa 5438 horas del año modelado teniendo un 38.03% de horas de disconfort en el tiempo medido. Así mismo al realizar las simulaciones con diferentes envolventes y a pesar de la disminución de temperatura entre los modelos, los resultados de horas de confort térmico fueron iguales en todos los modelos con envolventes, que se oponen a lo esperado en la hipótesis de esta investigación, en la cual se asumía que al aplicar diferente evolventes se generaria un confort térmico del 100% del tiempo medido, esto debido a que a pesar de que se disminuye la temperatura, esta sigue siendo alta con relación a los parámetros de confort.

7. RECOMENDACIONES

Partiendo de los análisis realizados se recomiendo no realizar únicamente el cambio de envolvente si no también variar las cargas térmicas de la ocupación y así mismo las cargar térmicas misceláneas y de equipos, realizando variaciones entre cada una de las envolventes. Por otra parte, será interesante simular el comportamiento de las envolventes en diferentes zonas climáticas para analizar el comportamiento en climas cálidos y fríos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alías, H. M., & Jacobo, G. J. (2004). Simulación del consumo de energía eléctrica para mantener el confort higrotérmico interior en viviendas con envolventes de madera y de mampostería . *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, *8*(1), 37–42.

Andersen, M., Discoli, C. A., Melisa Viegas, G., & Martini, I. (2017). Monitoreo energético y estrategias de RETROFIT para viviendas sociales en clima frío. *Revista Hábitat Sustentable*, *7*(2). https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.05

Arballo, B. D., Kuchen, E., & Chuk, D. (2019). Optimización de la eficiencia energética aplicando confort térmico adaptativo en un edificio de oficinas público en San Juan-Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, *9*(1). https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.01.05

Arce, P., Medrano, M., Gil, A., Oró, E., & Cabeza, L. F. (2011). Overview of thermal energy storage (TES) potential energy savings and climate change mitigation in Spain and Europe. *Applied Energy*, *88*(8), 2764–2774. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2011.01.067

Arumugam, P., Ramalingam, V., & Vellaichamy, P. (2022). Effective PCM, insulation, natural and/or night ventilation techniques to enhance the thermal performance of buildings located in various climates – A review. *Energy and Buildings*, *258*, 111840. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2022.111840

Boussaba, L., Lefebvre, G., Makhlouf, S., Grados, A., & Royon, L. (2021). Investigation and properties of a novel composite bio-PCM to reduce summer energy consumptions in buildings of hot and dry climates. *Solar Energy*, *214*, 119–130. https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2020.11.060

Cool Roofs | Department of Energy. (n.d.). Retrieved October 24, 2022, from https://www.energy.gov/energysaver/cool-roofs

Gestor energetico. (n.d.). *Design Builder Software*. Retrieved October 25, 2022, from https://www.gestor-energetico.com/aprender-design-builder/

Giraldo, J., & Arango, J. P. (2020a). Proceso de optimización en el diseño de sistema de calefacción solar pasivo. *Revista Técnica "Energía,"* *16*(2). https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.357

Giraldo, J., & Arango, J. P. (2020b). Proceso de optimización en el diseño de sistema de calefacción solar pasivo. *Revista Técnica "Energía,"* *16*(2), 100–110. https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.357

Gómez Ramírez, J., Murcia Murcia, J. D., & Cabeza Rojas, I. (2017). La Energía Solar Fotovoltaica en Colombia: Potenciales, Antecedentes y Perspectivas. *Universidad Santo Tomás*.

Guillén Guillén, C. A., & Muciño Vélez, A. (2020). Ahorro energético en vivienda social mediante la implementación de materiales regionales. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, *8*, 59–80. https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i8.142

Guzmán, A. J., Pilatti, J. L., Angulo, S., Piumetti, J., Salinas, M., Pereyra, F., Túgel, J., & Olarte, A. (2018). Situación clima/energética en localidades de la prov. de córdoba, evaluación de vivienda tipo; simulaciones con diferentes envolventes y orientaciones,

y propuesta de adecuación térmica, utilizando muros trombe u otras formas de energía solar pasiva. *Arquitecno*, *12*. https://doi.org/10.30972/arq.0124183

Heier, J., Bales, C., Reviews, V. M.-R. and S. E., & 2015, undefined. (n.d.). Combining thermal energy storage with buildings–a review. *Elsevier*. Retrieved October 24, 2022, from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114009629

Isaza, C., Pilatowsky, I., Romero, R., & Cortés, F. (2010). Analisis termodinamico de un sistema de refrigeracion solar por absorción usando soluciones de monometilamina - agua para la conservación de alimentos. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *8*(1), 18–25.

Islam, N., Dewan, |, & Ahmed, H. (2021). *Delaying the temperature fluctuations through PCM integrated building walls-Room conditions, PCM placement, and temperature of the heat sources*. https://doi.org/10.1002/est2.245

Jayaram, P., Pradyumnan, P., … S. K.-M. S. in, & 2015, undefined. (n.d.). Pulsed laser deposition and optical band gap engineering in multinary transparent conducting oxide thinfilms. *Elsevier*. Retrieved October 24, 2022, from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369800114007549

Juanico, L. (2006). Diseño De Techo Solar Adaptable Innovativo Para Refrigeración Y Calefacción Hogareña Pasivas. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, *10*.

Juvinao Navarro, J. C. (2021). Lecciones del Cargo por Confiabilidad en Colombia como un mecanismo de incentivo a la generación de energía eléctrica. *Revista Desarrollo y Sociedad*, *87*. https://doi.org/10.13043/dys.87.4

Karazhanov, S., & Kharton, V. (2018). Novel materials for batteries, supercapacitors, fuel cells and other advanced technologies. *Materials Letters*, *229*, 5. https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2018.06.079

Ma, M., Zhang, K., Chen, L., & Tang, S. (2021). Analysis of the impact of a novel cool roof on cooling performance for a low-rise prefabricated building in China. *Building Services Engineering Research and Technology*, *42*(1), 26–44. https://doi.org/10.1177/0143624420960276/FORMAT/EPUB

Montero, J., (a), S. K. status solidi, & 2018, undefined. (2018). Spectroscopic Ellipsometry and Microstructure Characterization of Photochromic Oxygen-Containing Yttrium Hydride Thin Films. *Wiley Online Library*, *215*(19). https://doi.org/10.1002/pssa.201701039

Moreno, R., Lopez, Y. U., & Quispe, E. C. (2018). Escenario de Desarrollo Energético Sostenible en Colombia 2017-2030. *Avances Investigación En Ingeniería*, *15*(1). https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4743

Müller, E. (2008). Análisis térmico Y recomendaciones para el diseño de casas solares pasivas y la difusión de viviendas sustentables. *Congreso Brasileiro de Energía Solar*, *Noviembre*, 1–12.

Murillo Manrique, M. (2018). Estrategias para comercializar energía renovables en el mercado eléctrico peruano. *Perfiles de Ingeniería*, *13*(13). https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v13i13.1471

Nowak, H., Nowak, L., & Sliwińska, E. (2016). The impact of different solar passive systems on energy saving in public buildings and occupants' thermal and visual comfort. *Journal of Building Physics*, *40*(2), 177–197. https://doi.org/10.1177/1744259115597705/FORMAT/EPUB

Pilatásig Lasluisa, J. (2020). Resiliencia de Sistemas Eléctricos de Potencia mediante la Conmutación de Líneas de Transmisión – Estado del arte. *I+D Tecnológico*, *16*(2). https://doi.org/10.33412/idt.v16.2.2834

Ramakrishna Balaji, C., Azevedo, A. R. G. de, & Madurwar, M. (2022). Sustainable perspective of ancillary construction materials in infrastructure industry: An overview. *Journal of Cleaner Production*, *365*, 132864. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132864

Rathore, P. K. S., Gupta, N. K., Yadav, D., Shukla, S. K., & Kaul, S. (2022). Thermal performance of the building envelope integrated with phase change material for thermal energy storage: an updated review. *Sustainable Cities and Society*, *79*, 103690. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2022.103690

Rathore, P. K. S., & Shukla, S. K. (2021). Enhanced thermophysical properties of organic PCM through shape stabilization for thermal energy storage in buildings: A state of the art review. *Energy and Buildings*, *236*, 110799. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2021.110799

Rojas Tavera, K. M. (2018). Confort ambiental basado en los principios de una arquitectura bioclimática en un centro educativo básico especial para niños de 0-14 años en la provincia de Cajamarca. In *Universidad Privada del Norte*.

Rosas Lusett, M. A. (2011). El confort ambiental de las circulaciones peatonales en el litoral costero de Barcelona, España. In *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. http://www.tdx.cat/handle/10803/110465%0Ahttp://www.tesisenred.net/handle/10803/110465

Serna Peña, E., & Maestre Gallego, S. (2018). Democratización de la producción de laenergía eléctrica en Colombia a partir de la Ley 1715 de 2014. *Dos Mil Tres Mil*, *20*(1). https://doi.org/10.35707/dostresmil/20106

Sivanathan, A., Dou, Q., Wang, Y., Li, Y., Corker, J., Zhou, Y., & Fan, M. (2020). Phase change materials for building construction: An overview of nano-/micro-encapsulation. *Nanotechnology Reviews*, *9*(1), 896–921. https://doi.org/10.1515/NTREV-2020-0067/ASSET/GRAPHIC/J_NTREV-2020-0067_FIG_008.JPG

Taleb, H. M. (2014). Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E. buildings. *Frontiers of Architectural Research*, *3*(2), 154–165. https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2014.01.002

Tipos de aislamientos térmicos · LEROY MERLIN. (n.d.). Retrieved October 25, 2022, from https://www.leroymerlin.es/hazlo-tu-mismo/consejos/tipos-de-aislamientos-termicos

Wonorahardjo, S., Sutjahja, I. M., Tunçbilek, E., Achsani, R. A., Arıcı, M., & Rahmah, N. (2021). PCM-based passive air conditioner in urban houses for the tropical climates: An experimental analysis on the stratum air circulation. *Building and Environment*, *192*, 107632. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.107632

Zeng, X., Zhou, Z., & Liu, C. (2022). Chinese urban energy and carbon congestion effects: A data envelopment analysis and materials balance approach. *Journal of Cleaner Production*, *341*, 130817. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.130817