

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Propuesta del uso e implementación de materiales térmicos en
viviendas fabricadas con concreto armado situadas en áreas
húmedas y boscosas**

Trabajo de graduación presentado por Pedro Mario Papescu Gilardi
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala
2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Propuesta del uso e implementación de materiales térmicos en
viviendas fabricadas con concreto armado situadas en áreas
húmedas y boscosas**

Trabajo de graduación presentado por Pedro Mario Papescu Gilardi
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

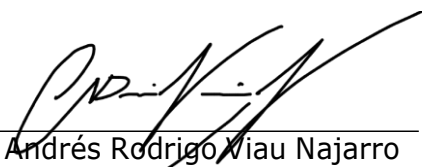
Guatemala
2023

Vo.Bo. Asesor

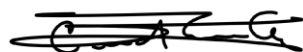


Ing. Luis Diego Castañeda Fernández

Vo.Bo. Terna Examinadora



Ing. Andrés Rodrigo Wiau Najarro



Ing. César Alberto Rosales Gómez



Ing. Luis Diego Castañeda Fernández

Fecha de aprobación del examen de graduación: Guatemala, 05 de enero de 2024.

Lista de figuras	IV
Lista de cuadros	V
Resumen	VII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	7
4. Objetivos	9
4.1. Objetivo general	9
4.2. Objetivos específicos	9
5. Marco teórico	11
5.1. Clima	11
5.1.1. Tipos de clima	11
5.1.2. Bioclima	12
5.1.3. Radiación solar	13
5.2. Aislamiento térmico	13
5.2.1. Mecanismos de transmisión de calor	13
5.2.2. Puente térmico	14
5.2.3. Inercia térmica	15
5.3. Materiales aislantes y de recubrimiento	16
5.3.1. Materiales para puertas y ventanas	17
5.3.2. Técnicas de arquitectura para reducir las pérdidas de calor	17
5.4. Índice de temperatura efectiva estándar	18
5.5. Termodinámica y los fenómenos de transporte en edificios	19
5.5.1. Balance de energía en una superficie	19
5.5.2. Intercambios de calor en un edificio	19

5.5.3. Condiciones del aire en el interior del edificio se presentan las condiciones siguientes.	20
5.6. Modelo de ecuaciones a utilizar para el cálculo de índice de confort térmico en recintos cerrados	21
6. Marco metodológico	23
6.1. Fase 1: Definición de requisitos	23
6.2. Fase 2: Investigación de materiales aislantes	24
6.2.1. Lana de poliéster	24
6.2.2. Celulosa	25
6.2.3. Algodón	25
6.2.4. Corcho aglomerado	25
6.2.5. Fibra de madera	25
6.2.6. Adobe	25
6.2.7. Fibra de coco	25
6.3. Fase 3: Establecer cálculos	26
6.4. Fase 4: Parámetros para el confort térmico dentro del hogar y condiciones climáticas	27
6.5. Fase 5: Diseño	29
6.6. Fase 6: Simulación	29
7. Resultados	37
8. Discusión de resultados	57
9. Conclusiones	63
10. Recomendaciones	65
11. Bibliografía	67

Lista de figuras

1. Principio del aprovechamiento de la luz solar y su movimiento natural	12
2. Mecanismos principales en la transmisión de calor.	14
3. Puente térmico	15
4. Representación de la luz en verano versus la luz natural en invierno.	18
5. Mecanismos de intercambios de calor en una superficie exterior.	20
6. Mecanismos de intercambio de calor en una superficie interior.	20
7. Escala de sensación térmica según ecuación de Fanger	21
8. Descripción de temperatura en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$)	28
9. Descripción de temperatura en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) para el mes de abril según el promedio de años análogos.	28
10. Modelado de casa elaborado en Autodesk Inventor	29
11. Mallado del panel aislante térmico	31
12. Panel aislante térmico, temperaturas	32
13. Herramienta Path para análisis de temperatura	33
14. Simulación de flujo de calor en casa	34
15. Temperaturas exterior e interior del hogar	35
16. Variación de temperatura en pared de concreto armado	37
17. Gradiente de temperatura en pared de concreto armado	38
18. Variación de temperatura en panel de lana de poliéster	38
19. Gradiente de temperatura en panel de lana de poliéster	39
20. Variación de temperatura en panel de celulosa	40
21. Gradiente de temperatura en panel de celulosa	40
22. Variación de temperatura en panel de algodón	41
23. Gradiente de temperatura en panel de algodón	41
24. Variación de temperatura en panel de corcho aglomerado	42
25. Gradiente de temperatura en panel de corcho aglomerado	42
26. Variación de temperatura en panel de fibra de madera	43
27. Gradiente de temperatura en panel de fibra de madera	44
28. Variación de temperatura en pared de adobe	44
29. Gradiente de temperatura en pared de adobe	45
30. Variación de temperatura en panel de fibra de coco	45

31. Gradiente de temperatura en panel de fibra de coco	46
32. Variación de temperatura en casa de concreto armado	47
33. Gradiente de temperatura en casa de concreto armado	47
34. Variación de temperatura en casa con paneles de lana de poliéster	48
35. Gradiente de temperatura en casa con paneles de lana de poliéster	48
36. Variación de temperatura en casa con paneles de celulosa	49
37. Gradiente de temperatura en casa con paneles de celulosa	49
38. Variación de temperatura en casa con paneles de algodón	50
39. Gradiente de temperatura en casa con paneles de algodón	50
40. Variación de temperatura en casa con paneles de corcho aglomerado	51
41. Gradiente de temperatura en casa con paneles de corcho aglomerado	51
42. Variación de temperatura en casa con paneles de fibra de madera	52
43. Gradiente de temperatura en casa con paneles de fibra de madera	52
44. Variación de temperatura en casa de adobe	53
45. Gradiente de temperatura en casa de adobe	53
46. Variación de temperatura en casa con paneles de fibra de coco	54
47. Gradiente de temperatura en casa con paneles de fibra de coco	55

Lista de cuadros

1. Definición de requisitos	24
2. Transmitancia térmica de materiales aislantes	24
3. Cálculos teóricos de pérdidas de calor en panel por material	30
4. Pérdidas de calor en panel por material	46
5. Pérdidas de calor en casa por material	55
6. Variación de temperatura en grados centígrados de paneles aislantes térmicos	58
7. Variación de temperatura en grados centígrados para casa por material aislante térmico	59
8. Precio de materiales aislantes térmicos	60

La necesidad de la investigación se presenta por las pérdidas de calor en casas fabricadas con concreto armado (block más cemento) que comúnmente se encuentran en las áreas húmedas y zonas boscosas con temperatura ambiente constante no mayor a 15 grados centígrados. Debido a esa temperatura, es necesario utilizar equipos auxiliares que demandan energía eléctrica o combustibles fósiles y en algunos casos especiales combustibles a base de gas licuado para regular las condiciones térmicas internas y así lograr obtener un ambiente controlado y con confort.

En algunos hogares con menor oportunidad de inversión en equipos eléctricos o mecánicos que permitan regular las condiciones térmicas internas recurren al uso de leña dentro de los mismos para poder así establecer un ambiente de confort. Emplear ese tipo de combustible genera contaminación ambiental y que finalmente impacta en la preservación del medio ambiente. El objetivo principal del trabajo de investigación será establecer qué tipos de materiales térmicos que pueden ser instalados en los hogares y así reducir pérdidas de calor en aquellas áreas húmedas y boscosas, la relevancia de emplear herramientas eficientes del control de temperatura es en esencia para reducir los gastos mensuales en las compras extras de energía eléctrica y los productos derivados del petróleo.

Se plantean seis fases dentro de la investigación para resolver el problema, se inicia con la definición del problema, posteriormente se recopilará y analizará información de proyectos similares o proyectos donde ya se han incorporado técnicas especiales para reducir el variante de perdidas térmicas en viviendas de concreto armado, posteriormente se generará un catálogo amplio de materiales que pueden ser utilizados como impermeabilizantes naturales que permitan a su vez suplantar el uso de dispositivos eléctricos o equipos accionados por gas. En la fase intermedia y final del proyecto de investigación se podrá interactuar con los profesionales de la construcción para generar un panorama específico de aspectos técnicos que permitan mejorar las condiciones naturales de la vivienda por medio de mejoras en los espesores de los materiales utilizados en paredes, pisos y techos.

En las últimas décadas, el estudio de los materiales aislantes para la edificación ha experimentado un avance significativo, impulsado por la creciente necesidad de mejorar la calidad de vida de las personas y aumentar la eficiencia energética en los edificios. Este progreso se ha convertido en una prioridad urgente en un mundo donde la sostenibilidad y la eficiencia energética son cada vez más cruciales.

La búsqueda de soluciones innovadoras en el ámbito de los materiales aislantes no solo tiene como objetivo proporcionar ambientes interiores más confortables y saludables para sus ocupantes, sino que también se dirige a optimizar el rendimiento de los materiales utilizados en la construcción, buscando reducir el consumo de energía y minimizar el impacto ambiental asociado con la operación de edificios a lo largo de su vida útil.

El confort térmico es un aspecto fundamental en la calidad de vida de las personas, especialmente en entornos donde las condiciones climáticas pueden variar significativamente. Se refiere a la sensación de bienestar experimentada cuando la temperatura, la humedad y la circulación del aire en un espacio están en niveles óptimos para las actividades humanas. A lo largo de la historia, el ser humano ha buscado formas de adaptar su entorno para garantizar un confort térmico adecuado, desde el uso de prendas de vestir hasta la construcción de viviendas diseñadas para regular la temperatura interior.

El presente trabajo tiene como objetivo resolver el problema de las pérdidas de calor en hogares ubicados en ambientes fríos de Guatemala. La idea es proponer el uso de materiales reciclados o de desecho que puedan ser implementados en las paredes de dichos hogares. A través de simulaciones, se pretende recrear las condiciones climáticas reales del entorno para analizar el rendimiento de estos materiales. Este enfoque busca no solo mejorar la eficiencia energética de las viviendas, sino también promover la sostenibilidad ambiental al reutilizar recursos disponibles localmente. Integrando la investigación teórica con la práctica simulada, se aspira a ofrecer soluciones prácticas y efectivas para mejorar la habitabilidad de las viviendas en áreas de clima frío en Guatemala.

El ser humano por naturaleza siempre ha buscado la manera de sentirse cómodo en todo momento, su objetivo es vivir en un ambiente que no este caliente ni frío, ni muy húmedo ni muy seco, las características del clima no siempre serán compatibles para buscar la comodidad, por lo que se busca cambiarlas en un espacio reducido por medio de diferentes sistemas de acondicionamiento de aire o incorporación de nuevos materiales en la elaboración de hogares.

Según Cengel (2015), el cuerpo humano puede verse como una maquina térmica cuya entrada de energía es el alimento y como cualquier otra genera calor de desecho el cual es liberado al ambiente. El aporte hacia la investigación radica en que el autor establece que la tasa de generación dependía del nivel de actividad ejercida y por el género del cuerpo humano, por lo cual la comodidad se puede enfocar en tres factores, siendo el primero la temperatura, el segundo la humedad relativa y finalmente el movimiento del aire, estableciendo así que el cuerpo humano puede sentirse cómodo en temperaturas ente 22 a 27 C, humedad relativa de 40 a 60 por ciento y la velocidad del aire aproximadamente de 15 m/min.

Para Arkadiusz (2017), en la construcción de hogares los materiales son fundamentales para la reducción del coeficiente de transferencia de calor. El aporte de Arkadiusz radica en su análisis realizado sobre los tres sistemas de construcción de muros externos multi capa, dos fueron elaborados con materiales tradicionales como cerámicos y hormigón, el tercero fue un sistema de encofrado permanente izodom, siendo este el innovador denominado el sistema encofrado permanente. El primer sistema estaba compuesto de paneles de poliestireno expandido, el segundo sistema compuesto por cerámica, con paneles de poliestireno expandido, y el sistema encofrado, compuesto por herrajes hechos de poliestireno extruido izodom rellenos con hormigón. Por lo que el autor determinó que este último obtuvo las mejores propiedades térmicas reduciendo la conductividad térmica en un 36.21 por ciento, indicando que para tener el mismo resultado con los otros sistemas se debe incrementar la relación de espesor en 76 cm y 40 cm respectivamente, significando un menor espacio en el área.

Cea y Arriaga (2019), estudiantes de la universidad técnica Federico Santa María sede

concepción, propusieron la implementación de corcho aglomerado como aislante en casas ubicadas en Chile. Ellos realizaron sus cálculos tratando de cumplir las normativas de su respectivo país. Eligieron dicho material por sus propiedades térmicas, ya que lo hace un material aislante más polivalente teniendo una conductividad térmica de 0.037 W/mK . El aporte hacia la presente investigación se centra en las ventajas encontradas en el corcho aglomerado, dichas ventajas demostradas fueron: durabilidad de 100 años, en caso de incendio es de combustión lenta, es ligero, es impermeable por lo cual no tiene problemas con la humedad y se vende por paneles por lo cual es fácil su transporte.

Yu (2022), quien construyó una casa utilizando como material de aislamiento térmico un compuesto de espuma de vidrio y cerámica para la elaboración de viviendas civiles y comerciales, demostró que igualmente es implementado en grandes industrias, por lo que ese material cuenta con grandes características mecánicas y térmicas haciéndolo útil para su implementación en zonas húmedas y boscosas. Su beneficio para la presente investigación es por la identificación que, a diferencia de otros materiales, tiene la ventaja de ofrecer una resistencia a la absorción de agua, por lo que ese no es un factor perjudicial, reduciendo los niveles de retención de líquidos y absorción de humedad.

Agrega Yu (2022), que dicho aislamiento se puede aplicar tanto en techos como en el exterior de la construcción. En las paredes la espuma de vidrio puede reducir significativamente el grosor de la pared aumentando el área utilizable. Ese compuesto reduce la conductividad térmica hasta cuatro veces más que los tradicionales y logra gradualmente una contracción de volumen del material, gracias a los poros internos que desaparecen al comprimirse.

Para Xiao (2022), en la minería existen riesgos térmicos especialmente a profundidades de 800 metros, se presentan diversos factores que causan daño incluyendo el calor geotérmico, el calor de compresión del aire, oxidación del mineral, la difusión térmica de los equipos electromecánicos, disipación de calor, calor subterráneo y explosivo. Para ese tipo de casos se utilizan materiales porosos los cuales permiten una mejor transferencia de calor gracias a que las moléculas de gas que tienen porque son utilizadas como atajos para la transferencia de calor y para crear canales para la transferencia de calor.

Los beneficios de la presente investigación según los aportes de Xiao (2022), manifiesta que la capacidad que poseen los materiales nanoporosos para prevenir la colisión de moléculas de gas, lo cual evita la conducción de calor y mejora la conductividad térmica a condiciones normales de temperatura y presión. Estos materiales se les conoce como super aislantes y pueden ser aplicados en nanoaerogel, donde el tamaño de los poros es menor a 100 nanómetros, mejorando la eficiencia en sus propiedades térmicas. Estos materiales pueden absorber eficazmente la radiación y por su baja densidad, logran reducir la conductividad térmica del aire.

Catalán (2013), en su investigación titulada “Estudio de factibilidad de un nuevo modelo de vivienda, a base de contenedores, que sea económico, ecológico y con orientación a la autosostenibilidad que será implementado en el oriente de Guatemala” afirma que la decisión de emplear diferentes materiales u otros elementos para la construcción de viviendas, puede representar un impacto positivo en el desempeño térmico y energético de las construcciones, además agrega que no todos los materiales son iguales y no todos los materiales poseen el mismo comportamiento ante diferentes condiciones ambientales. Los beneficios hacia la presente investigación es poder reconocer las principales características de los materiales ais-

lantes indicando algunas: minimizar el paso de calor a través de los cerramientos, reteniendo el calor en el interior de los edificios (aislamiento del frío) o evitando su ingreso (aislamiento del calor), controlar las temperaturas superficiales de los cerramientos, manteniéndolas suficientemente altas para evitar las condensaciones o suficientemente bajas para evitar elevadas temperaturas radiantes interiores.

Él Ingeniero Cortes (2008), en el programa de Maestría de tecnología de la construcción, desarrolló su investigación titulada “Análisis térmico de los sistemas constructivos comunes utilizados en techos y muros en vivienda versus la normatividad oficial en el tema, en los diversos bioclimas de México”. En dicha investigación, realizó un análisis comparativo entre viviendas de diferentes regiones de México para establecer si cumplía con la normativa de construcción, pero muy especialmente si empleaban modelos constructivos con aprovechamiento térmico con el factor de resistencia térmica R , por lo que el aporte a la presente investigación se basa en una de sus conclusiones donde explica que en México el 90 por ciento de la energía utilizada es no renovable proveniente de combustibles fósiles para producir energía eléctrica, y que el 23 por ciento de la energía total es consumida por el sector de la vivienda, dicho sector de la vivienda demanda energía para generar climatización artificial y que si se mejorará la resistencia térmica en las viviendas de sectores con bajas temperaturas, se podrá reducir en un 9 por ciento el consumo de energía eléctrica anual.

A diferencia de Basterrechea (2009), siendo uno de los desarrolladores de la “Guía técnica para el diseño de estructuras en madera” propone que utilizar maderas de bosques nubosos para el encoframiento de viviendas con un espesor de 2 pulgadas y que éstas sean instaladas en la parte interna de las paredes de concreto armado, podría disminuir las pérdidas térmicas en un 35 por ciento, las pérdidas podrán ser graduales según las condiciones generales del entorno, para lo que a la presente investigación representa un aporte técnico al fijar como uno de los principales materiales de recubrimiento ese tipo de madera, de preferencia que sea de la familia de los abedules, robles y araucarias, sería útil solamente por emergencia utilizar madera de pino común, pero la misma no es aconsejable debido a su baja capacidad de aislamiento térmico y a sus características mecánicas que provocan que posea una mayor contracción y expansión, por lo que puede generar grietas que se convertirían en entrada de aire frío.

Un aporte especial es realizado por Müller (s.f), quien realizó un “Análisis térmico y recomendaciones para el diseño de casas solares pasivas y la difusión de viviendas sustentables” evaluando el diseño de casas solares pasivas que representan ser una estrategia prometedora para mejorar las condiciones de calidad de vida en la zona central de Chile, para poder así desarrollar una teoría sobre el diseño de viviendas sustentables en la región. Donde el aporte a la presente investigación son los aspectos técnicos propuestos por medio de simulaciones necesarias para construir paredes con un mínimo de espesor de 10 centímetros, la base o mejor conocida como torta de suelo deberá ser de 8 centímetros de espesor y esta deberá estar construida sobre tierra compactada con 2 centímetros de espesor, generando así un efecto térmico en el aprovechamiento de las condiciones ambientales internas.

Según Jiménez (2008), en su investigación titulada “Estrategias de diseño para brindar confort térmico en vivienda en la ciudad de Loja” realiza un análisis crítico sobre el factor de calefacción, indicando que la orientación es una de las claves principales al proyectar la edificación con sistemas pasivos de calefacción, ya que las viviendas deberán estar orientadas desde su fachada principal hacia el sol en su mayoría del tiempo, pero muy especialmente por

las tardes cuando el sol brinda mayor aporte energético. Por lo que el aporte hacia la presente investigación es sobre la utilización y creación de medidas de abrigo en el emplazamiento que puede reducir las pérdidas de calor en las viviendas, eso mediante la infiltración y convección, mejorando las condiciones térmicas en un 15 por ciento.

Según el INAB (2015), en Guatemala la leña es utilizada por un gran porcentaje de la población, principalmente en el área rural, de tal manera que hasta un 57 por ciento de la población hace uso de esta, como recurso energético a nivel nacional. Es principalmente utilizada para la cocción de alimentos y como combustible para calentar los hogares que no cuentan con los equipos necesarios para cumplir con estas tareas. La demanda anual se estima en 27.98 millones de metros cúbicos, principalmente consumida por la demanda doméstica rural que representa un 85 por ciento de este valor. Este recurso es muy utilizado porque los hogares ubicados en esta zona no están contruidos con materiales que ayuden a cumplir los estándares del confort térmico, provocando que las personas utilicen la leña como un recurso externo para lograr la comodidad adentro de sus hogares.

Para CENGEL (2015), la relevancia de la investigación se fija por mejorar las condiciones de vivienda de los seres humanos en aquellos entornos climáticos no controlables que ofrecen bajas temperaturas, alta concentración de humedad y lluvia persistente, por lo que las viviendas pueden estar siendo afectadas con humedad en su interior y presentar la necesidad de utilizar dispositivos energéticos a base de electricidad o de gas para poder regular las condiciones térmicas internas, además, que por las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los agregados en la obra gris, aceleran el descenso de la temperatura al concluir el periodo de radiación solar. Utilizar, materiales térmicos en paredes y techos contribuirá a reducir el consumo derivado por la búsqueda del confort térmico, el cual se debe al uso de refrigeración y calefacción, obligando a las personas a utilizar ropa adecuada dependiendo de las condiciones climáticas de su entorno. Esto se observa de mejor manera en edificios antiguos donde la implementación de materiales aislantes o técnicas innovadoras para reducir la conductividad térmica no se presentan de manera satisfactoria. Por lo cual la búsqueda del confort humano es obligatoria en el estudio construcción y en la edificación, dado que todas las empresas dedicadas a la construcción de hogares y edificios tienen como objetivo mejorar la calidad de vida de los ocupantes.

Para Cea y Arriaga (2019), una solución para este problema es el de implementar distintos tipos de materiales aislantes o una combinación de estos para mejorar las propiedades

térmicas del espacio determinado. Dichos materiales pueden abarcar desde pinturas y recubrimientos termo-reflectantes, hasta materiales más resistivos como lo son placas rígidas, paneles, espumas de relleno, hormigo, madera, corcho aglomerado, bloques de termo-arcillas. También ayudaría a reducir costos de construcción y de equipos de refrigeración, ya que en la mayoría de estos materiales y técnicas de edificación cuentan con un costo menor a las tradicionales, dado que aprovechan de mejor manera las propiedades térmicas del ambiente reduciendo la conductividad térmica.

Según Catalán (2013), es importante diseñar aquel modelo eficiente de construcción que permita mejorar las condiciones de resguardo en casas de concreto armado, sus puntos vulnerables son paredes y techos en sectores que comprometen la calidez interna por su entorno asociado a bajas temperaturas o climas lluviosos, por lo que el incorporar materiales que permitan mejorar las condiciones térmicas en su interior, es una respuesta inmediata para mejorar el hábitat. Sin embargo, es la notable ausencia de investigaciones relacionadas al aprovechamiento de las condiciones térmicas en el interior de los hogares, sin que este se vea afectado por el uso de equipos eléctricos o equipos mecánicos que regulen la temperatura. Finalmente, la propuesta busca obtener validez económica en el diseño estandarizado de construcciones en casas de concreto armado, pero mejorando la capacidad de retención calorífica en su interior sin la necesidad de facturas mensuales extras por utilizar energía eléctrica, gas licuado, leña u otro tipo de acelerador de combustión para regular la temperatura.

4.1. Objetivo general

Establecer los materiales térmicos que pueden ser empleados en la construcción de viviendas con concreto armado y que reduzca las pérdidas de calor en áreas húmedas y boscosas en aquellos lugares con temperatura ambiente constante no mayor a 15 grados centígrados.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar y evaluar materiales térmicos adecuados para su implementación en paredes y techos de viviendas.
- Realizar una simulación en ANSYS del comportamiento térmico en los materiales aislantes en ambiente con temperaturas menores a 15 grados centígrados.
- Comparar el flujo de calor que a través de las paredes de viviendas con los diferentes materiales propuestos.
- Establecer las formas en que se pueden evitar las fugas térmicas en las paredes del concreto que presentan el efecto de porosidad.
- Determinar y comparar el coeficiente de transmisión térmica de los materiales aislantes.

5.1. Clima

Plutarco (2017), define el clima como un organismo complejo, el cual es resultante de las influencias de variables meteorológicas y físicas, siendo estos la precipitación de agua (lluvia) y el rango de temperatura.

Sare (2019), explica que el clima de un determinado lugar estará condicionado por valores medios de los factores o elementos meteorológicos que influyen sobre esa determinada zona y sus variaciones están proyectadas sobre la variación del tiempo. Para realizar algún estudio práctico del cambio en el clima medio ambiental se deben obtener las desviaciones y los valores promedios para así poder determinar las oscilaciones del clima y modalidades estacionarias.

5.1.1. Tipos de clima

Ávila (2017), expone que los climas de mayor relevancia que pueden influir en el estudio del diseño constructivo de las viviendas de concreto armado son cuatro, algunas son de menor relevancia y otras son de mayor intensidad, tanto que un simple cambio puede llegar a afectar en gran medida el confort humano. Los cuatro climas de interés son los siguientes:

- Econclima: Es el de mayor relevancia, este suele denominarse así por ser a pequeña escala y el cuál consta a pocos metros cuadrados de área cubierta por algún matorral.
- Microclima: Corresponde a una pequeña área o franja de pocos miles de metros cuadrados.
- Mesoclima: Este ya es considerado a escala media y corresponde a una extensión que va de cientos a miles de kilómetros cuadrados de extensión de valles, planicies o montañas.

- Macroclima: Este deberá ser analizado a gran escala y corresponde a extensas áreas geográficas con extensión de miles a millones de metros cuadrados, regularmente pueden considerarse países o hemisferios.

5.1.2. Bioclima

Izard (2017), el bioclima involucra la asociación de los elementos meteorológicos que influyen en la sensación de bienestar fisiológico. Esos elementos reconocidos son: el viento, la temperatura del aire y la temperatura de radiación del entorno. La sumatoria de estas variables son las que condicionan la sensación térmica al estar presentes en un clima húmedo, caluroso, con mucho o poco viento. De tal forma que el bioclima incorpora a su análisis la arquitectura bioclimática.

Por lo que Monasterio (2016), denomina la arquitectura bioclimática como las características de diseño con las que se construye una obra gris pensando en aprovechar el clima y las condiciones naturales de su entorno con el fin de alcanzar un estado de confort dentro de sus instalaciones, sin la necesidad de utilizar equipos auxiliares para regular la temperatura. Además de ser necesario emplear diseños con el aprovechamiento y uso racional de elementos arquitectónicos, desplazando nuevamente la intención o la necesidad de utilizar sistemas mecánicos complejos para regular las condiciones térmicas del interior de la vivienda.

Continúa agregando Monasterio (2016), que la arquitectura bioclimática emplea un sinnúmero de combinaciones regulares e irregulares para construir un diseño arquitectónico eficiente, es importante reconocer la orientación de las entradas de luz naturales que sean sobre el ángulo de mayor aprovechamiento del sol, con materiales con alta capacidad de captación de radiación solar que permita a través de la jornada nocturna emitir esa radiación gradualmente como un beneficio térmico. Con esas variables de control que influyen la construcción se generaría una eficiencia energética hacia el desuso de equipos eléctricos o mecánicos para regular las condiciones térmicas generales.

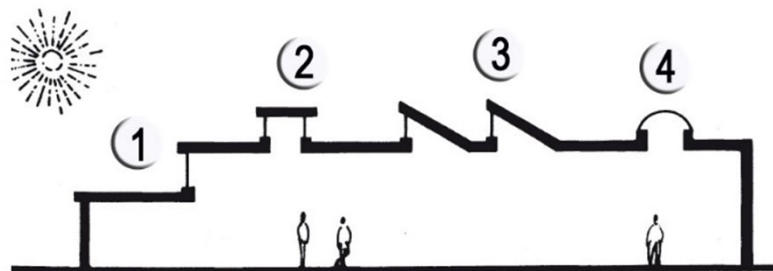


Figura 1: Principio del aprovechamiento de la luz solar y su movimiento natural

5.1.3. Radiación solar

López (2016), la radiación solar que incide directamente sobre una infraestructura podrá condicionar su diseño, especialmente en edificaciones de tres niveles o más, es importante evaluar la rotación del Sol para que pueda ser aprovechada en espacios libres urbanos. Parte del sistema combinado conforme a la radiación solar es el efecto de la atmósfera. Esta capa protectora natural de la tierra actúa como filtro y espejo de la radiación solar, por lo que permite el ingreso de bandas solares en forma de espectro, lo que comúnmente se conoce como rayo ultravioleta y que son infrarrojos, por lo que estos rayos generan un aporte térmico natural. Luego que los rayos ultravioletas atraviesan la atmósfera se libera energía considerablemente aprovechada para todos los seres humanos. De tal forma que la fracción de la constante solar que reciben los suelos es considerada como la radiación solar directa y que sus valores pueden estar basados en variables de transmisión atmosférica, condiciones geográficas y la altitud respecto del nivel del mar.

5.2. Aislamiento térmico

El aislamiento térmico es la capacidad que poseen los materiales para oponerse al paso del calor por conducción, evaluándose por la resistencia térmica que tienen. Un material se considera aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica se encuentra por debajo a $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ a 23 grados Celsius, representando la resistencia al calor. Una característica que poseen los materiales aislantes en la edificación es que estos presentan una resistencia media, esto se debe a la variación del clima durante todo el año, haciéndolo ideal tanto para verano como invierno. Lenggen (2021).

5.2.1. Mecanismos de transmisión de calor

Se presentan tres mecanismos diferentes y fundamentales para analizar la transmisión del calor dentro de espacios confinados en viviendas de concreto armado, Haramoto (2016). La transferencia de calor se define como la transmisión de energía de una región a otra, resultado de la diferencia de temperatura existente entre ellas. La conducción y la radiación deben ser clasificadas como procesos de transferencia de calor, porque solamente estos dos mecanismos dependen para su operación de la existencia de una diferencia de temperatura.

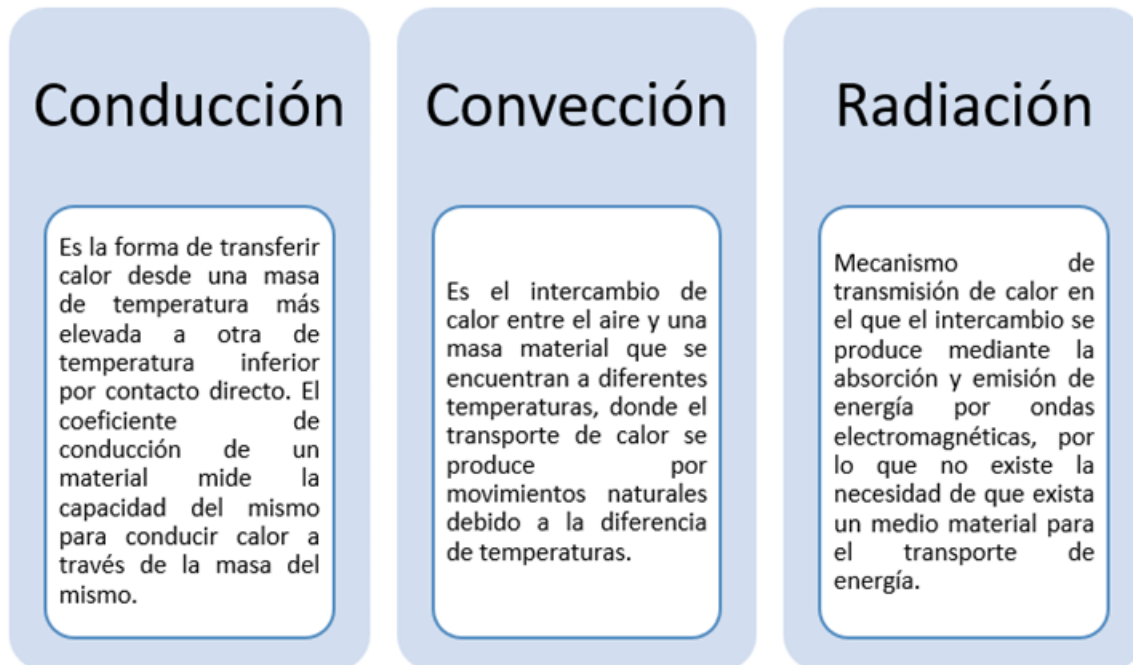


Figura 2: Mecanismos principales en la transmisión de calor.
Haramoto (2016)

Agrega Haramoto (2016), que el enfriamiento radiante es un fenómeno que se presenta en toda la superficie del planeta. Constituye el único mecanismo por medio del cual el planeta puede perder calor. Considerando que el sol vierte sobre la tierra una cantidad de energía del orden de 1.5×10^{17} KJ por día, y que el promedio de temperatura en la superficie terrestre es aproximadamente constante por largos periodos de tiempo, es obvio que una cantidad similar de energía por día debe escapar. Se explica así, que en diferentes situaciones donde se pueden presentar los mecanismos de transmisión de calor en la naturaleza pueden influir por el calor o en forma simultánea entre ellos.

Haramoto (2016), explica que una cantidad abundante de energía es reflejada al espacio como luz visible, y una pequeña fracción es convertida en energía química por medio de la fotosíntesis, y la mayor parte del calor que se desprende de la superficie de la tierra, la atmósfera y los océanos es emitida hacia el espacio en forma de radiación térmica infrarroja. La transferencia de calor por radiación constituye una fuente de enfriamiento natural. Los ejemplos de este proceso de enfriamiento abundan en la naturaleza, la formación de rocío sobre el pasto es causada por la pérdida de calor por radiación hacia el cielo durante la noche. La neblina matutina y las heladas ocurren después de noches despejadas debido a éste proceso.

5.2.2. Puente térmico

El puente térmico o aislante en fachadas de construcciones son partes adicionales a la construcción original, pueden estar colocados como una cubierta en paredes y techos

o en el subsuelo donde está instalada la planta de construcción. El objetivo de esto es evitar la penetración de humedad y la fuga térmica. Por eso Bansal (2019), estima que los puentes térmicos lineales y puntuales pueden representar hasta un 40 por ciento de las pérdidas. El autor establece que un puente térmico mal diseñado e instalado podría acelerar el enfriamiento de la superficie interior sobre los parámetros de construcción de obra gris por lo que se iniciarían así las condensaciones, provocando moho y otros daños.

Bansal (2019), indica que los puentes térmicos deberán estar colocados a una altura similar o igual que los pisos de la construcción, evitando fisuras en los marcos, fisuras entre uniones y confirmar que los muros sean forjados y cubiertos, para aprovechar así la fachada en general, evitando fugas en puntos críticos. Los beneficios de instalar puentes térmicos son para incrementar la compacidad en la zona climatizada y la de mayor ventaja constructiva es el poder aislar exteriormente los elementos constructivos masivos.

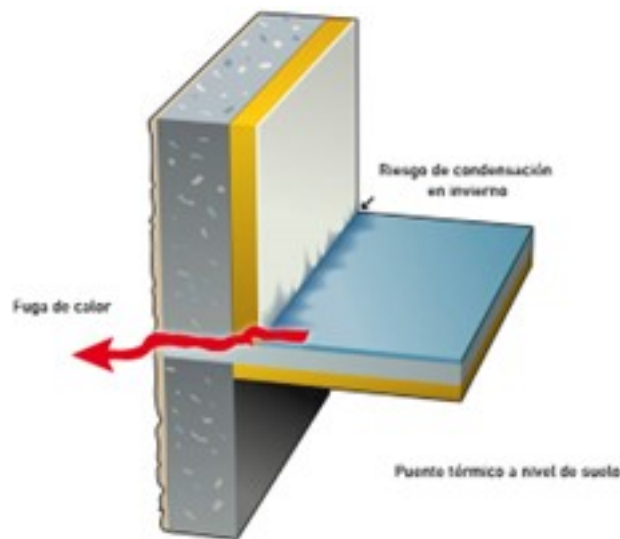


Figura 3: Puente térmico

5.2.3. Inercia térmica

La inercia térmica es la capacidad de almacenar energía de algunos materiales que estarán condicionados por su masa, también estará condicionada por su densidad y por su calor específico. Construcciones con inercia térmica poseen variaciones estables ya que su calor acumulado durante el día se libera por la noche, eso representa mayor inercia térmica con mayor estabilidad térmica.

Morán (2019), la inercia térmica es un concepto clave en las técnicas bioclimáticas ya que la capacidad de acumulación térmica de las soluciones que conforman un elemento arquitectónico es básica para conseguir el adecuado nivel de confort y la continuidad en las instalaciones de climatización. La inercia térmica conlleva dos fenómenos, uno de ellos es el de la amortiguación en la variación de las temperaturas y otro es el retardo de la temperatura interior respecto a la exterior. Un ejemplo de gran inercia térmica es el suelo, cuyo efecto climático puede ser utilizado ya que amortigua y retarda la variación de temperatura que se produce entre el día y la noche. El semienterramiento de edificios puede llegar a aprovechar

la capacidad de acumulación calorífica del suelo.

5.3. Materiales aislantes y de recubrimiento

Los materiales aislantes o productos complementarios dentro de la construcción Duffie (2018), deberán de cumplir diferentes propósitos, principalmente el de mejorar las condiciones de confort térmico y aislante en la edificación donde sean instalados, para ello es importante conocer que tipo de estructura y que tipo de materiales primarios poseerá la estructura, ya que al incorporar materiales inflamables podrían estar sujetos a una combustión inesperada al reaccionar con otros materiales que sirvan como catalizador.

De igual forma se deberá conocer las propiedades de los materiales que serán colocados en función del recubrimiento de techos, paredes y pisos, no todos los productos pueden ser utilizados como un material apropiado para el recubrimiento de interiores, para ello es crítico que se conozca el uso o destino final de la estructura, siendo así, para una casa se deberán utilizar productos con bajo contenido de químicos y evitar productos cancerígenos. No solamente por ser un impermeabilizante idóneo deberá ser colocado, por eso es importante evaluar en una lista de ofertantes, que materiales podrían crear el clima interno adecuado con el menor impacto a la salud.

Hauser (2019), ha presentado diferentes libros en Alemania acerca del aprovechamiento de materiales orgánicos y materiales compuestos con la finalidad de aprovecharlos en hogares expuestos a cambios climáticos y con mayor incidencia en climas templados, por lo que utilizar materiales aislantes entre los muros puede ser una opción viable, a través del aprovechamiento de fibras naturales procesadas se podrán fabricar piezas cuadradas con diferentes grosores, el grosor estará asociado a la regulación del clima, pueden utilizarse desde 2.5 centímetros hasta 15 centímetros y la relación de temperatura estaría desde los -4° C hasta los 18° C. Luego de los 18° C, establece el autor, que no es necesario utilizar este tipo de planchas entre muros. Las planchas, estarán colocadas entre ambas caras de un muro con segmentos o cuadrículas de quince centímetros por quince centímetros y el grosor estará condicionado por el promedio de las temperaturas mínimas alcanzadas en los últimos dos años.

Cada material aislante o material de recubrimiento que estará siendo instalado dentro de una construcción con fines de resguardo de personas deberá cumplir con certificados mínimos de seguridad, en la composición de sus materiales, para poder así demostrar que no son materiales u objetos contaminantes con posibles riesgos de provocar cáncer, enfisemas pulmonares u otros daños a la salud del cuerpo humano. Es importante reconocer que los fabricantes no utilicen materiales, en la fabricación de sus productos, que se puedan degradar fácilmente con cambios de temperatura, esto podría verse afectado por el cambio climático, ya que hoy en día la temperatura en cierto lugar podrá no superar los 25 grados centígrados, pero en cinco años podrá llegar a alcanzar temperaturas mayores a 30 grados centígrados y ante esa exposición los materiales de los productos aislantes podrían degradarse con mayor rapidez.

5.3.1. Materiales para puertas y ventanas

De acuerdo con García (2016), para evitar el puente térmico y reducir la filtración de humedad o evitar las fugas térmicas desde el interior de la vivienda, es necesario utilizar como materiales base en puertas y ventanas productos que puedan generar condiciones de sellado con la menor opción a sufrir ataque de moho, humedad u otros agentes ocasionados por factores climáticos. El material comúnmente utilizado en construcciones de bajo impacto ambiental y con mayor ventaja económica es el PVC (Polyvinyl Chloride o Policloruro de Vinilo) este material es derivado de los polímeros con menor tiempo de degradación y menor estimación en pérdidas de sus celdas internas que permita aislar la humedad del exterior hacia el interior de un determinado resinto, sus ventajas son por su bajo peso, casi innecesario mantenimiento, maleable, moldeable e inoloro.

5.3.2. Técnicas de arquitectura para reducir las pérdidas de calor

El arquitecto y constructor paisajista Sanchez (2018), establece que el aprovechamiento de los espacios naturales dentro y fuera del hogar son herramientas primordiales para reducir las pérdidas de calor sin la necesidad de realizar gastos elevados en equipos eléctricos u otras técnicas que representan mayores gastos en los hogares, por lo que, es importante considerar la trayectoria solar, la radiación directa, difusa y reflejada, la ventilación y el aprovechamiento climático del suelo.

Al hacer referencia a la trayectoria solar, Sanchez (2018) indica que el Sol es la principal fuente energética que puede afectar el diseño bioclimático, se debe construir una idea acerca de la su trayectoria conforme las distintas estaciones del año. Se deberán prever los días del año con mayor Sol y menor Sol, la rotación del equinoccio de primavera y el equinoccio de otoño. Posterior al equinoccio de primavera, los días pueden durar el mismo tiempo que la noche, por lo que las condiciones térmicas por la noche podrían considerarse favorables al aprovechar la capacidad de resguardo.

Otros puntos favorables y que deberán aprovecharse, son respecto a la transición del periodo de lluvia hacia el periodo de primavera, por lo que los días son más largos, es cuando el Sol puede alcanzar la mayor altura a medio día, según sea el punto de referencia donde se construirá la vivienda, se deberá reconocer que la salida y la puesta del Sol estarán siendo desplazadas hacia el norte, por lo que esa tendencia seguiría hasta llegar a finales de junio.

Luego del equinoccio de otoño, los días pueden considerarse más cortos y el Sol ya no alcanza un punto elevado en el firmamento, provocando que el Sol se encuentre a menor altura a medio día. Durante esa transición de temporadas, la salida y la puesta del Sol se desplazan hacia el sur, esa tendencia seguiría hasta el solsticio de invierno donde se produce el día mas corto.

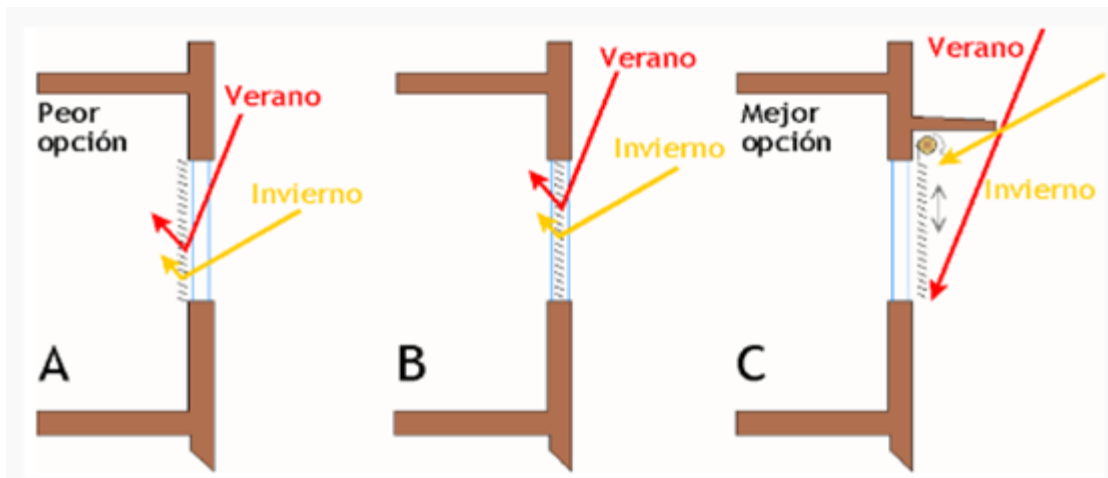


Figura 4: Representación de la luz en verano versus la luz natural en invierno.
 Sanchez (2018)

Sanchez (2018), establece que las trayectorias solares presentadas en la figura anterior, tienen gran impacto en la radiación que reciben las ventanas que poseen fachadas verticales. En invierno, la fachada sur recibe la mayor carga de radiación debido a la posición del sol, las trayectorias solares presentan orientaciones más bajas haciendo que la ventana reciba más radiación solar. Por otro lado en verano, las trayectorias solares presentan una orientación más vertical haciendo que la ventana reciba menos radiación solar.

Otros puntos importantes a considerar según Sanchez (2018), es la radiación directa, difusa y reflejada, ya que la energía solar incidente en una superficie terrestre puede manifestarse de tres maneras diferentes. La primera que se considera es la radiación directa, está es la captada de primera mano por el sol. La segunda es la radiación difusa, está es captada de la atmósfera y es la consecuencia de la dispersión de la radiación solar, esa energía puede suponerse como el 15 por ciento de la radiación global en los días soleados. Pero en días nublados cuando la radiación directa es más baja, la radiación difusa generando un porcentaje mayor, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, y las superficies verticales son las que menos reciben radiación solar.

Por último, la radiación puede ser reflejada. Está es reflejada por la superficie terrestre, donde la cantidad de radiación dependerá del coeficiente de reflexión de la superficie, que también es llamado albedo. Finalmente, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven superficie terrestre, mientras que las superficies verticales sí.

5.4. Índice de temperatura efectiva estándar

Houghton y Yaglou definieron la temperatura efectiva estándar como la temperatura de bulbo seco de un recinto ideal con una humedad relativa del 50 por ciento en donde las personas realizando actividades de poco esfuerzo físico y vistiendo ropa ligera tendrían el

mismo intercambio de calor que en el ambiente ideal, obteniendo la misma sensación térmica.

5.5. Termodinámica y los fenómenos de transporte en edificios

Solórzano (2015), la termodinámica es la ciencia que estudia los intercambios de energía en los sistemas, ayudando a determinar la cantidad de energía transmitida y la pérdida en el proceso de equilibrio. La termodinámica estudia los sistemas termodinámicos los cuales pueden clasificarse como abiertos o cerrados. Un sistema cerrado es aquel que no permite intercambiar masa, haciéndola constante aunque puede intercambiar calor y trabajo. Un sistema abierto representa lo contrario, este puede intercambiar masa, calor y trabajo con sus alrededores.

El calor es la forma de energía que puede ser intercambiada entre sistemas, dado a una diferencia de temperaturas, por lo que la ciencia de transmisión de calor trata las razones de los tiempos de enfriamiento o calentamiento y la variación de la temperatura.

5.5.1. Balance de energía en una superficie

El balance de energía según la primera ley de la termodinámica establece que la energía total de un sistema aislado se mantiene constante. Para el balance de transferencia de calor a través de un panel, el calor llega a la superficie por medio de radiación y convección, y se transmite a través del panel por medio de conducción y sale al otro extremo por radiación y convección. El balance de energía se ve reflejada en la siguiente ecuación.

$$Q_1 = Q_2 - Q_3 \quad (1)$$

Donde:

Q_1 = Es la cantidad total de energía en el sistema.

Q_2 = Es la cantidad de energía que entra al sistema.

Q_3 = Es la cantidad de energía que sale del sistema.

5.5.2. Intercambios de calor en un edificio

Para Garmendia (2012), las superficies en contacto con el aire exterior se presentan las siguientes condicionantes.

- Absorción de radiación de onda corta es transmitida al interior.
- Emisión y absorción entre las superficies.
- Convección con el aire ambiente exterior.
- Conducción a través del cerramiento.

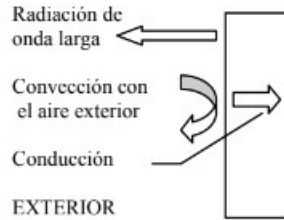


Figura 5: Mecanismos de intercambios de calor en una superficie exterior.

Para las superficies en contacto con el aire interior se presentan las siguientes condiciones.

- Absorción de radiación procedente de fuentes internas o del Sol.
- Emisión y absorción entre las superficies con el ambiente.
- Convección con el interior.
- Conducción a través de las entradas.

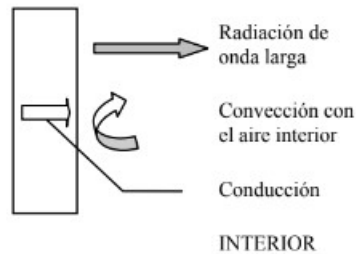


Figura 6: Mecanismos de intercambio de calor en una superficie interior.

5.5.3. Condiciones del aire en el interior del edificio se presentan las condiciones siguientes.

- Conducción con las superficies interiores y los diversos objetos con los que está en contacto.
- Convección con la superficie del equipo de calefacción o acondicionador.

Hay que tener en cuenta que el aire es prácticamente impermeable a los intercambios de radiación para las distancias que podemos considerar en un edificio (decenas de metros), por lo que sólo intercambia calor por convección.

5.6. Modelo de ecuaciones a utilizar para el cálculo de índice de confort térmico en recintos cerrados

La sensación térmica que experimenta una persona está relacionada con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Ese equilibrio dependerá de diferentes factores intrínsecos y extrínsecos, no quedará sujeto a las actividades físicas de la persona o por el tipo de vestimenta que posea, se verá afectado directamente por los parámetros en el entorno como la temperatura del aire, la velocidad del aire con su factor de humedad y de la temperatura media radiante. Agrega que, para evaluar las condiciones de confort y de la calidad del aire en un espacio cerrado es necesario determinar la velocidad del viento en el interior.

La evaluación del confort térmico en ambientes moderados, según lo propuesto por una norma internacional, dicha norma es la UNE-EN-ISO 7730:2006 titulada “Ergonomía del ambiente térmico: determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV (voto medio estimado) y PPD (porcentaje de personas insatisfechas) y los criterios de bienestar térmico local”. Con el aprovechamiento de esa norma se plantean métodos para la predicción de la sensación térmica general y del grado de incomodidad (insatisfacción térmica) que sufren las personas expuestas hacia ambientes térmicos moderados, como los que se producen en las habitaciones de viviendas que utilizan diferentes tipos de calefacción convencional.

Para ello será necesario realizar la determinación analítica y la interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de índices que influyen en los valores de la construcción, además, dependen de variables que pueden ser agrupadas en tres bloques de estudio. Los tres grupos de interés para la norma son las características del aislamiento y el área total del mismo, las características del tipo de trabajo que se pueda realizar dentro de las instalaciones para obtener referencia de la carga térmica metabólica y por último, se condicionarán las características del ambiente como la temperatura del aire, la temperatura radiante media de las superficies, la humedad y la velocidad del aire.

El índice PMV o voto medio estimado, reflejará el valor medio de los votos emitidos por un grupo de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles, donde se le asigna un valor a cada sensación predeterminada

PMV	Sensación térmica
+3	Muy caluroso
+2	Caluroso
+1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frio

Figura 7: Escala de sensación térmica según ecuación de Fanger

Durante el cálculo del índice intervendrán diferentes factores que se deberán considerar, esos factores pueden ser: factor de superficie, temperatura de la ropa, aislamiento en techos

y paredes, tasa metabólica de la persona, velocidad del aire en el exterior y la temperatura ambiente. Esos índices son empleados para predecir el valor medio de los votos sobre la sensación térmica que emitiría un grupo de personas expuestas al mismo ambiente, basándose en el equilibrio térmico del cuerpo humano. Para un ambiente concreto será necesario estimar el número de personas que se sentirán insatisfechas por notar demasiado frío o demasiado calor, ese porcentaje se calculará mediante el índice PPD (porcentaje estimado de insatisfechos) para lo cual será necesario utilizar el índice PMV según la siguiente ecuación.

$$PMV = +0.028 + 0.03e(-0.036M) \quad (2)$$

Donde:

PMV: Es el índice de voto medio predictivo

M: Es el valor de pérdida de calor sensible en vatios por metro cuadrado debido a la convección y radiación.

Para identificar aquellos materiales y técnicas necesarias en la construcción de viviendas con concreto armado que mejore las propiedades térmicas de su interior se desarrollaron las siguientes fases:

6.1. Fase 1: Definición de requisitos

Para esta fase se realizaron entrevistas a profesionales en el tema de la edificación y que contaran con experiencia en la implementación de materiales aislantes en sustitución a los materiales convencionales. Se visitaron 2 proyectos en la ciudad de Guatemala, en donde los ingenieros civiles implementaron materiales aislantes suplantando las típicas formas de construcción con base en el concreto armado. Se procedió a realizarles preguntas sobre el proyecto, recolectando la información técnica de los materiales utilizados, su implementación y su obtención en Guatemala.

El proyecto civil encargado por el Ing. Wilfredo Cano, trata sobre la construcción de un gimnasio sin sistema de aire acondicionado, en base a paneles de poliuretano. Se consiguió la información sobre los parámetros que deben cumplir los paneles para mantener el confort humano dentro un área llena de individuos generando más calor por el tipo de actividades que estos realizan, se obtuvo la información técnica de los paneles de poliuretano y el proveedor que distribuye estos tipos de paneles en Guatemala. Se obtuvo la información de los requisitos para la instalación de los paneles y el como estos pueden ser utilizados para la implementación de hogares.

El proyecto de refrigeración encargado por el Ing. Fernando Gonzales consta del diseño del centro de distribución de una empresa de comida rápida. En dicho proyecto se utilizan paneles de poliestireno expandido. Se consiguió la información de dichos paneles al igual que

su método de instalación. Se obtuvo la información del distribuidor y los datos técnicos de los paneles en sus distintos grosores, y se procedió a relacionarlos con el diseño de hogares en zonas húmedas y boscosas.

Código	Requisito
MA01	Los materiales aislantes deben tener una conductividad térmica menor a 0.50 W/mK
DS01	La simulación debe representar con precisión la geometría de un hogar incluyendo paredes, techos, suelos, ventanas y puerta.
DS02	En la simulación los paneles estarán diseñados con su grosor y conductancia real.
TP01	La temperatura del ambiente debe ser 10 C o menor
TP02	La temperatura del hogar debe ser de 20 a 26 C para lograr el confort térmico
SF01	Establecer el método de transferencia de calor por convección en el material.
SF02	Presentar el gráfico de comportamiento de la temperatura a través del material.

Cuadro 1: Definición de requisitos

6.2. Fase 2: Investigación de materiales aislantes

Para mejorar el confort térmico se investigaron diferentes materiales aislantes térmicos que pueden ser implementados en la edificación. Estos materiales cuentan con características térmicas que regulan la transferencia de calor entre el interior y el exterior de la estructura, mejorando la temperatura interior del hogar, logrando el confort térmico. Algunos materiales aislantes térmicos son los siguientes:

Materiales	K (W/mK)
Lana de poliéster	0.038
Celulosa	0.039
Algodón	0.040
Corcho aglomerado	0.037
Fibras de madera	0.042
Adobe	0.460
Fibra de coco	0.019

Cuadro 2: Transmitancia térmica de materiales aislantes

6.2.1. Lana de poliéster

Es una mezcla de fibra natural, lana y fibra creada del poliéster. Tiene propiedades mecánicas que le proporcionan gran durabilidad y cuenta con alta resistencia al fuego dado que resiste 200 grados centígrados. Este se obtiene a partir del reciclaje de botellas PET. HITEGA (2021).

6.2.2. Celulosa

La celulosa es un polímero natural y es parte de la sustancia principal de la madera y papel. Esta se obtiene a partir del reciclaje de papel al cual se le añade aditivos en base de sales para agregarle propiedades ignífugas y resistencia a plagas Mena (S.F).

6.2.3. Algodón

Este material se obtiene mediante la mezcla de algodón virgen con algodón reciclado y boro, un mineral compuesto de orgánicos volátiles que brinda características superiores a otros aislantes. Se requiere la adición de productos químicos que le brinden resistencia térmica dado que el algodón es combustible Mena (S.F).

6.2.4. Corcho aglomerado

El corcho es un material natural con propiedades idóneas para la función de aislante térmico. Puede soportar temperaturas altas de hasta 120 grados centígrados, es impermeable dado que presenta suberina en sus células, las cuales le proporcionan esta propiedad. El corcho aglomerado es un material ligero, lo que facilita su manejo. Portiño (2019).

6.2.5. Fibra de madera

Este material se obtiene mediante el aprovechamiento de los residuos del procesamiento de la madera, representando una ventaja económica dado a su fácil obtención. Se mezcla con resina y pasa por un proceso de prensado para dar forma de bloque. Mena (S.F).

6.2.6. Adobe

Según Moscoso (2016), el adobe es un material elaborado de una mezcla de arcilla, arena, agua y un material que ayude a los esfuerzos de corte como lo es la paja. Dicha mezcla es colocada en moldes de madera y se coloca bajo el sol. Cabe mencionar que la selección de la tierra para los moldes es importante, ya que no cualquier tierra es óptima para su elaboración. El adobe es un material sensible a la humedad teniendo un porcentaje de absorción entre 0 a 4 por ciento. Entre sus propiedades térmicas el adobe es un material higroscópico, dado que puede mantener el calor o el frío y tiene un coeficiente de transmitancia térmica de 0.46 W/mK.

6.2.7. Fibra de coco

La fibra de coco se obtiene de el mesocarpio de la fruta. Esta se somete a diferentes procesos que extraen sus fibras. Las fibras más largas son utilizadas en construcción, ge-

neralmente se presentan como bloques compactados. Tiene gran capacidad de retención de agua y buenas propiedades térmicas. AEfA (S.F).

6.3. Fase 3: Establecer cálculos

Las pérdidas de calor en construcciones generalmente es por conducción dado que el calor se desplaza en todas las direcciones, por lo tanto, es necesario contabilizar todas las superficies como espacios que pueden transmitir calor.

$$Q = A * U * (T_i - T_o) \quad (3)$$

Donde:

Q: Índice total de perdida de calor por superficie.

U: Coeficiente global de transferencia de calor.

A: Área de la superficie.

T_i: Temperatura interior.

T_o: Temperatura exterior.

La conductancia y las resistencias de cualquier material se calculan de la siguiente manera

$$Cx = k/x \quad (4)$$

$$Rx = x/k \quad (5)$$

Donde:

x: Espesor del material

k: Conductividad térmica

Cuando el flujo de calor pasa por multiples materiales diferentes, se debe considerar los valores R de cada uno de los componentes.

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_n \quad (6)$$

Donde:

R_{tot}: Resistencia térmica total

R_n: Resistencia térmica del material

El coeficiente global de transferencia de calor, se refiere a que tan bien se conduce el calor a través de los componentes.

$$U = 1/R_{tot} \quad (7)$$

Se calculó la transferencia de calor a través de una pared plana la cual fluye de forma perpendicular a la superficie.

$$Qk = -(kA/L)(T_2 - T_1) = (kA/L)(T_1 - T_2) \quad (8)$$

Donde:

k: Transmitancia térmica

A: Área

L: Longitud

T1: Calor de salida

T2: Calor de entrada

En el caso de que sean paredes compuestas de múltiples materiales se utilizó la siguiente ecuación:

$$Qk = -(kA/L)_1(T_2 - T_1) = (kA/L)_2(T_1 - T_2) = (kA/L)_3(T_1 - T_2) \quad (9)$$

Donde:

k: Transmitancia térmica

A: Área

L: Longitud

T1: Calor de salida

T2: Calor de entrada

6.4. Fase 4: Parámetros para el confort térmico dentro del hogar y condiciones climáticas

Lograr el confort térmico en la edificación es muy importante para lograr una sensación cómoda de temperatura del ambiente para las personas. En general, se considera que un rango óptimo de temperatura se encuentre entre 20 a 25 grados centígrados, este rango de temperatura cumple con los estándares establecidos por diferentes normas. Otro factor muy importante es la humedad relativa, ya que esta influye en la capacidad del cuerpo para perder calor a través de la evaporación por sudor, provocando que al tener una humedad relativa alta se generará una mayor dificultad para generar sudoración. Según los estándares, se considera que entre el rango de 30 a 60 por ciento de humedad relativa puede mantenerse el confort térmico.

Se utilizaron datos climáticos correspondientes a las estaciones más frías y cálidas de Guatemala, con el fin de comprobar que los materiales aislantes cumplen con los estándares de confort térmicos establecidos. Se eligió el departamento de Quetzaltenango de Guatemala, dado que este presenta las temperaturas más bajas en el país.

Región Climática	Lugar de referencia	Noviembre 2021 (°C)
Altiplano Central	Ciudad Capital	10-14
	Sololá	6-10
Bocacosta	Retalhuleu	18-22
	Escuintla	14-18
Caribe	Puerto Barrios	18-22
	Livingston	18-22
Franja Transversal del Norte	Cobán	10-14
	Ixcán	18-22
Occidente	Huehuetenango	6-10
	Quetzaltenango	2-6
Pacífico	Puerto de San José	18-22
	Champerico	18-22
Norte	Flores	18-22
	Poptún	14-18
Valles de Oriente	Esquipulas	10-14
	Zacapa	18-22

Figura 8: Descripción de temperatura en grados Celsius (°C).
INSIVUMEH (2022b)

Región Climática	Lugar de referencia	Noviembre 2021 (°C)
Altiplano Central	Ciudad Capital	10-14
	Sololá	6-10
Bocacosta	Retalhuleu	18-22
	Escuintla	14-18
Caribe	Puerto Barrios	18-22
	Livingston	18-22
Franja Transversal del Norte	Cobán	10-14
	Ixcán	18-22
Occidente	Huehuetenango	6-10
	Quetzaltenango	2-6
Pacífico	Puerto de San José	18-22
	Champerico	18-22
Norte	Flores	18-22
	Poptún	14-18
Valles de Oriente	Esquipulas	10-14
	Zacapa	18-22

Figura 9: Descripción de temperatura en grados Celsius (°C) para el mes de abril según el promedio de años análogos.
INSIVUMEH (2022a)

6.5. Fase 5: Diseño

Se llevó a cabo el diseño de un panel que albergará los materiales aislantes térmicos mencionados previamente. Se diseñaron las capas exteriores, que entrarán en contacto, tanto con el entorno exterior, como con el interior del hogar, y estarán fabricadas con el mismo material para todos los aislantes térmicos. Es relevante señalar que el grosor del material será uniforme para todos los tipos aislantes, con el propósito de analizarlos en igualdad de condiciones y observar con precisión la transmisión térmica a través del panel.

Se diseñó un hogar con dimensiones básicas para analizar el comportamiento de temperatura dentro de de un hogar.

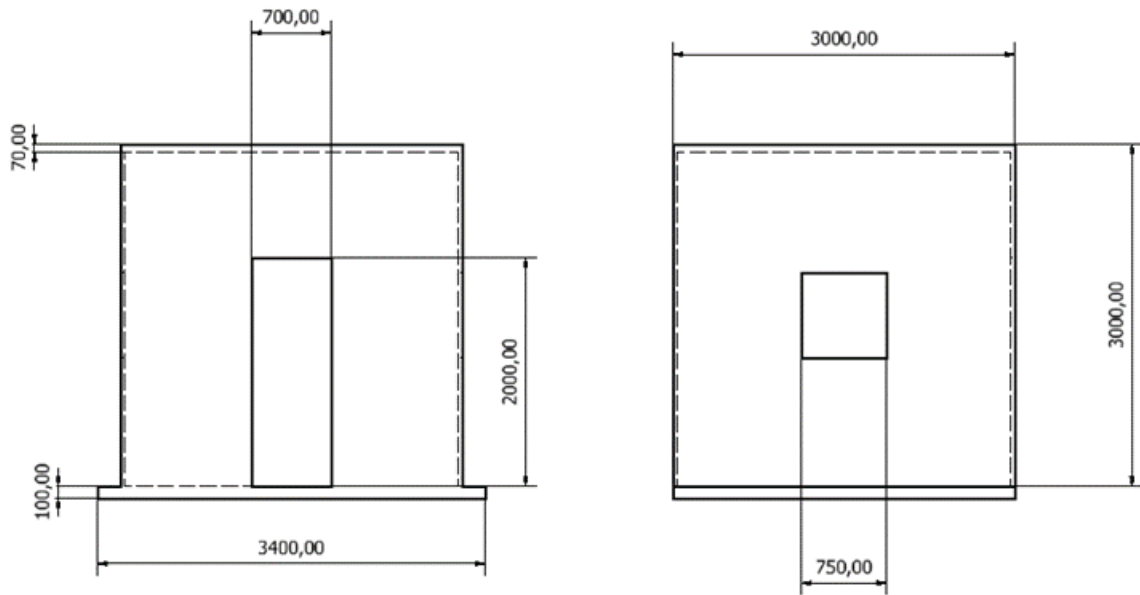


Figura 10: Modelado de casa elaborado en Autodesk Inventor

6.6. Fase 6: Simulación

Se llevaron a cabo los cálculos teóricos de las pérdidas de calor para cada uno de los materiales aislantes térmicos propuestos en la investigación, con el propósito de compararlos con los resultados obtenidos por el software ANSYS. Se consideró una temperatura ambiente de 5 grados centígrados y una temperatura del confort humano de 25 grados centígrados para los extremos de las paredes.

Pérdidas de calor	
Material	W
Lana de poliéster	12.286
Celulosa	12.857
Algodón	13.429
Corcho aglomerado	10.571
Fibras de madera	12.000
Adobe	57.143
Fibra de coco	6.571

Cuadro 3: Cálculos teóricos de pérdidas de calor en panel por material

Para llevar a cabo el análisis, se empleó el software ANSYS con la finalidad de demostrar la conductividad térmica de los materiales mencionados previamente. El propósito de la simulación es el de exhibir la variación de temperatura de los extremos del panel a lo largo de su espesor. Se utilizó la herramienta Steady-state thermal, la cual permite analizar la transferencia de calor en estado estacionario y se agregó a la librería todos los materiales que se utilizarán en la simulación.

En la sección de modelado, se incorporaron los materiales aislantes térmicos en los sólidos correspondientes del panel. Es importante mencionar que los sólidos que conforman la parte exterior de la estructura están hechos de madera y el núcleo es el único sólido que varía de material. En cuanto a la generación de mallado, dado que se trata de una estructura sencilla, se empleó el mallado base de ANSYS con un sizing de 25 milímetros, esto entrega un valor skewness cercano a cero, lo que indica que los parámetros de mallado utilizados son ideales para el análisis.

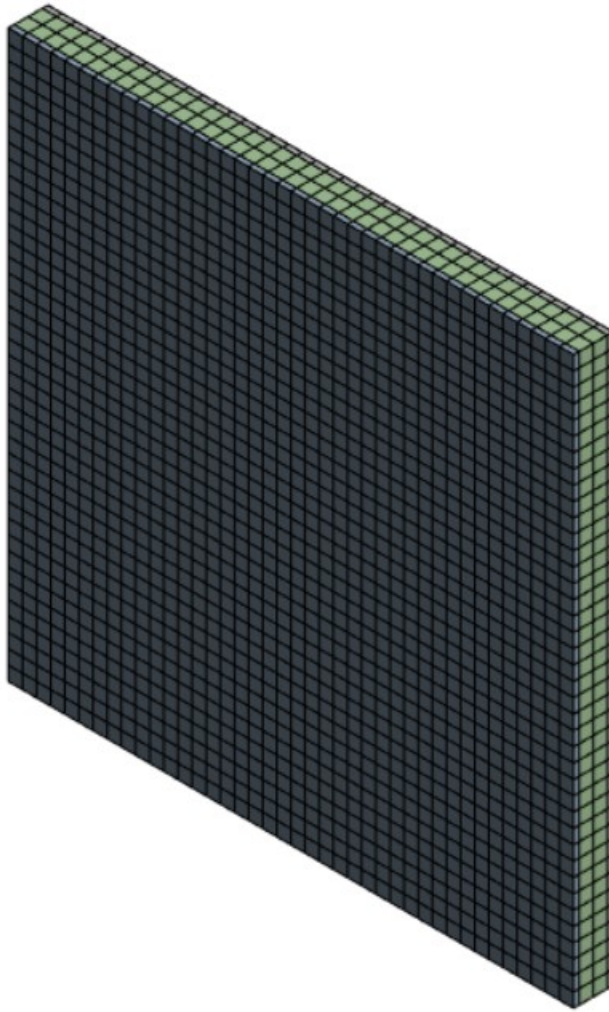


Figura 11: Mallado del panel aislante térmico

Luego, se procedió a establecer las temperaturas en los extremos del panel. En uno de los extremos se fijó la temperatura del ambiente ya que este simula las condiciones exteriores de la vivienda, en el otro extremo se colocó la temperatura del confort térmico establecido anteriormente ya que este simulara las condiciones dentro del hogar.

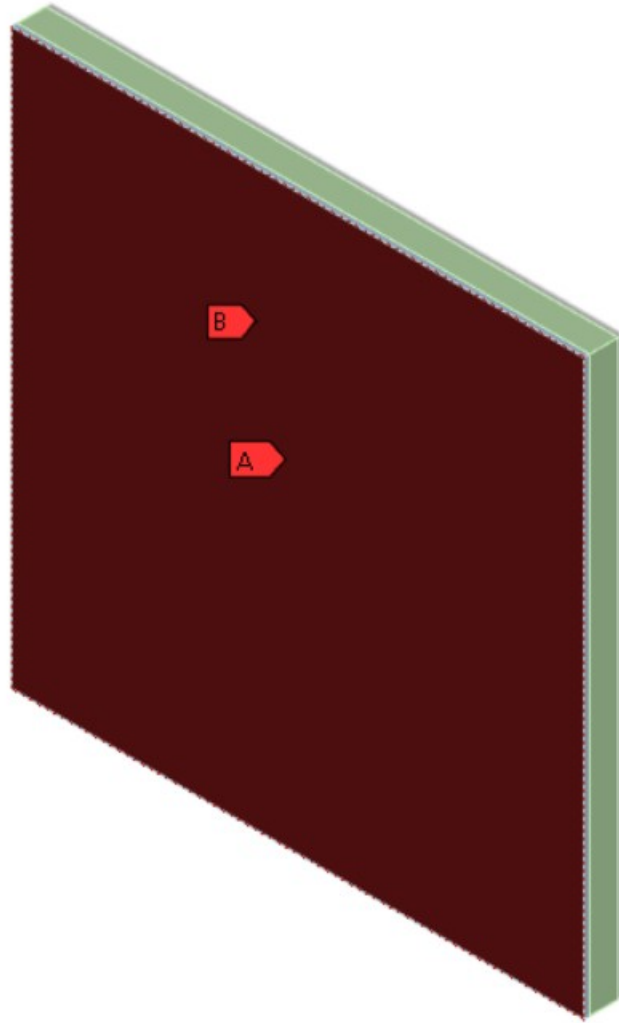


Figura 12: Panel aislante térmico, temperaturas

Para el análisis de temperatura se colocó un path en la estructura con el objetivo de observar el comportamiento de la temperatura a través del panel.

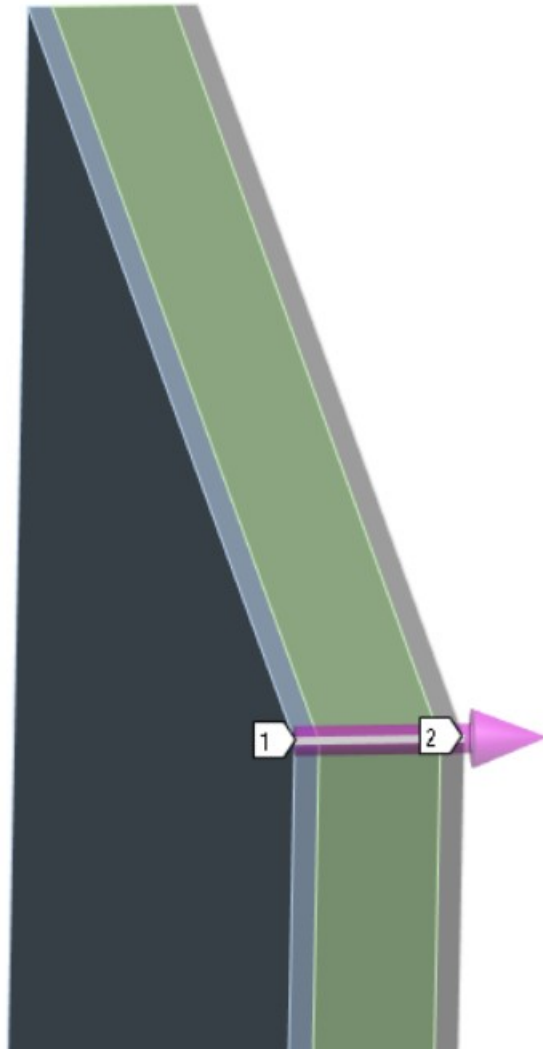


Figura 13: Herramienta Path para análisis de temperatura

Luego de completar los pasos anteriores, se procedió a realizar otra simulación para emular estos materiales en un hogar. En esta simulación se evaluó el efecto aislante de los materiales al determinar la temperatura en la pared interior, observando el flujo de calor a través del material. Cabe mencionar que en el diseño del hogar, se emplearon ventanas y una puerta de materiales comunmente utilizados en la construcción, teniendo coeficientes de transmisión térmica estándar en el mercado, los cuales se establecieron en $1.4 \text{ W}/(\text{mK})$ y $0.88 \text{ W}/(\text{mK})$ respectivamente. Para el suelo se usó los valores estándar del concreto armado $1.5 \text{ W}/(\text{mK})$.

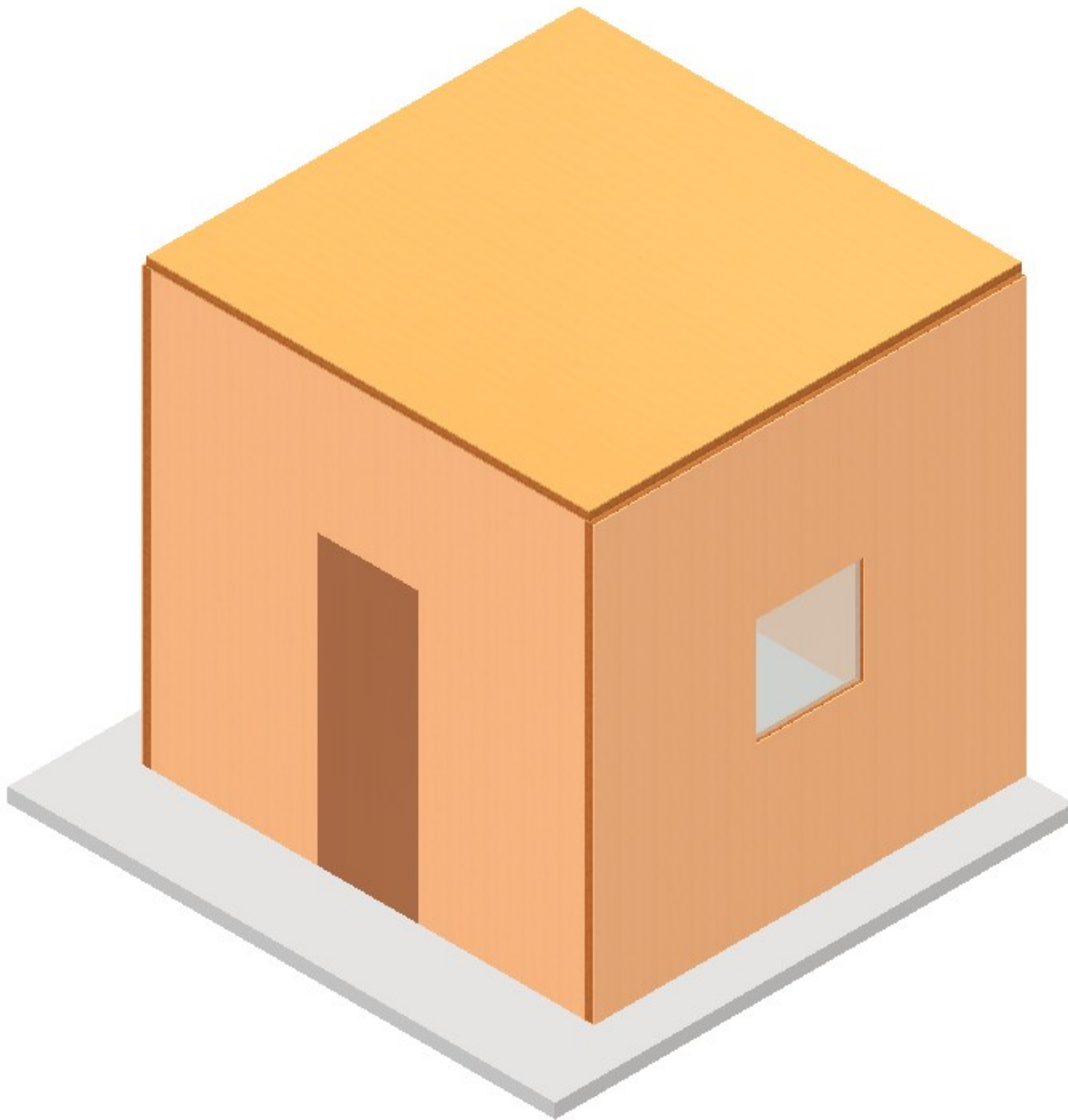


Figura 14: Simulación de flujo de calor en casa

En la sección de modelado se empleó el mallado base de ANSYS y se utilizó el método de evaluación Skewness, obteniendo un valor cercano a cero, lo que indica que es óptimo para la simulación. Se implementó una transferencia de calor por convección en la parte exterior de la vivienda, simulando la transferencia de calor que se produce entre el material y el ambiente. Posteriormente se utilizó la herramienta heat flux de ANSYS para calcular la cantidad de calor a través de los paneles, simulando las condiciones internas de la vivienda.

A: Steady-State Thermal

Steady-State Thermal

Time: 1. s

10/09/2023 19:53

A Convection: 15. °C, 5. W/m²·°C

B Heat Flux: 5. W/m²

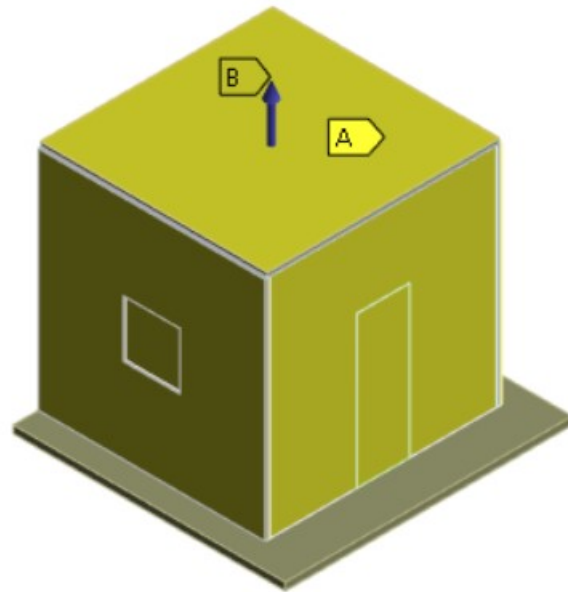


Figura 15: Temperaturas exterior e interior del hogar

Luego se realizó un análisis de temperatura en los paneles, con el fin de examinar cómo se comporta el flujo de calor desde el exterior hacia el interior de la vivienda. Se empleó la herramienta path de ANSYS para observar detalladamente el flujo térmico a través de la estructura.

Se llevó a cabo el análisis de los paneles aislantes térmicos con el propósito de observar el flujo de calor a través del material y apreciar las variaciones de temperatura en cada uno de los extremos.

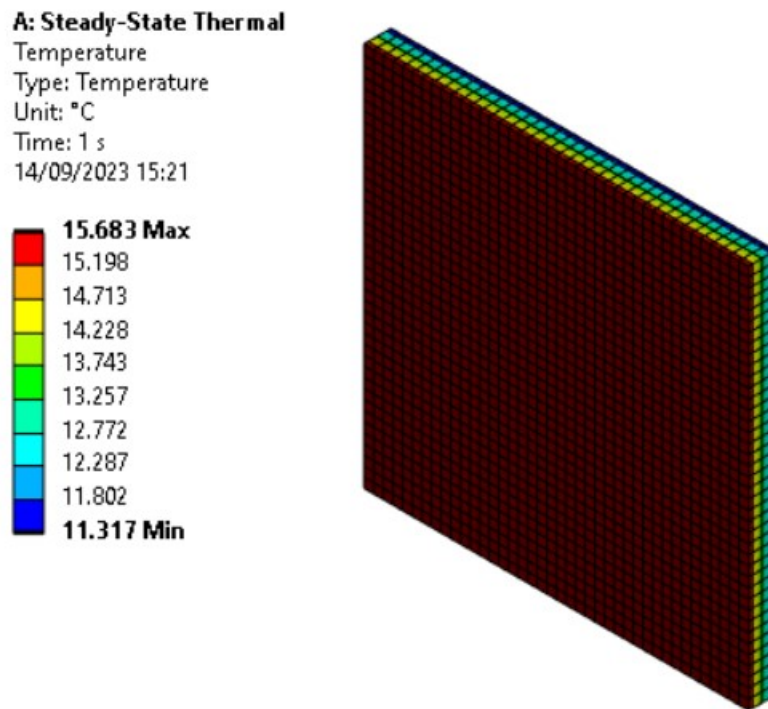


Figura 16: Variación de temperatura en pared de concreto armado

La figura 16, presenta la simulación de una pared elaborada de concreto armado. En uno de los extremos esta sometido a temperatura ambiente y el otro esta sometido a la temperatura del interior del hogar. Como era de esperarse las temperaturas obtenidas no cumplen con los parámetros del confort humano, dado que este no es un material aislante.

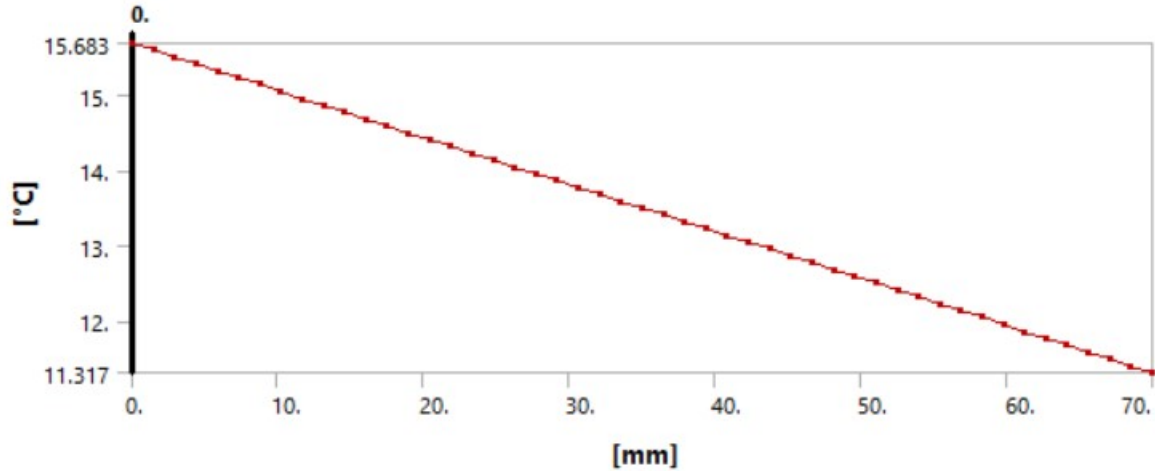


Figura 17: Gradiente de temperatura en pared de concreto armado

En la figura anterior, representa la transferencia de calor por conducción a través de la pared de concreto armado. La temperatura máxima y mínima obtenidas no cumplen con las necesidades confort humano.

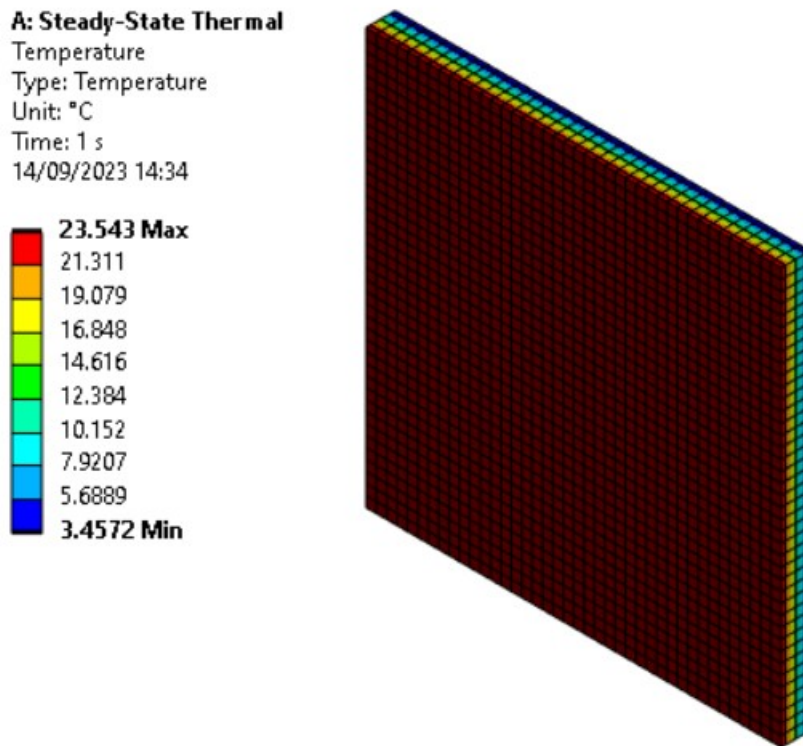


Figura 18: Variación de temperatura en panel de lana de poliéster

La Figura 18, presenta la variación de temperatura en un panel de lana de poliéster. La temperatura máxima representa el extremo del panel que esta ubicado en el interior del hogar. La temperatura obtenida fue de 23.54 grados centígrados indicando que el hogar se mantiene a temperatura del confort humano.

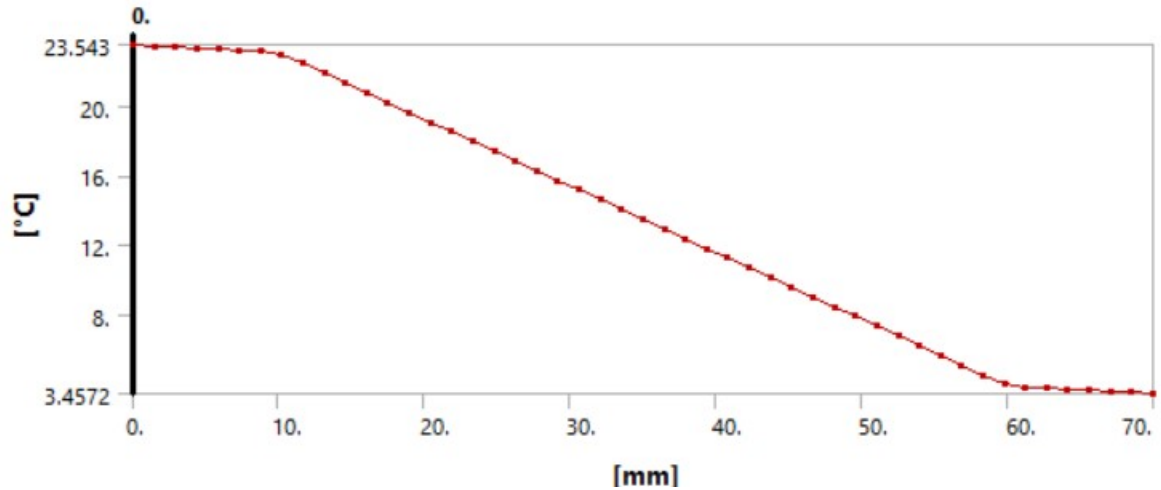


Figura 19: Gradiente de temperatura en panel de lana de poliéster

En la figura anterior se observan la transferencia de calor por conducción que ocurre a través del panel de lana de poliéster. Al tratarse de un panel, los extremos están elaborados de un material diferente por lo que la pendiente del gráfico es menor que en el núcleo. La lana de poliéster presenta una mayor pendiente debido a sus características térmicas, haciendo que las pérdidas de calor disminuyan.

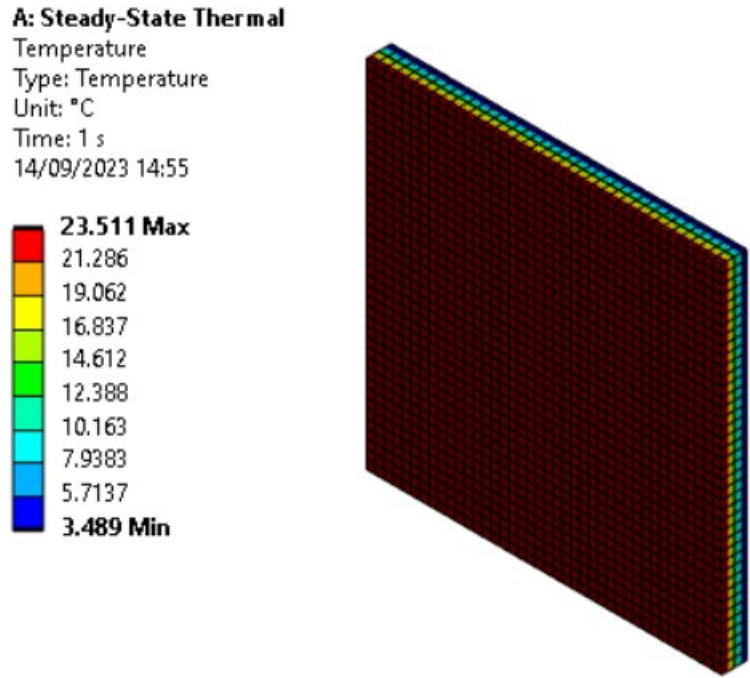


Figura 20: Variación de temperatura en panel de celulosa

En la figura anterior, se presenta la variación de temperatura en el panel de celulosa. La temperatura máxima obtenida representa el extremo del panel ubicado en el interior del hogar, se obtuvo un valor que cumple con los requisitos de temperatura del confort humano.

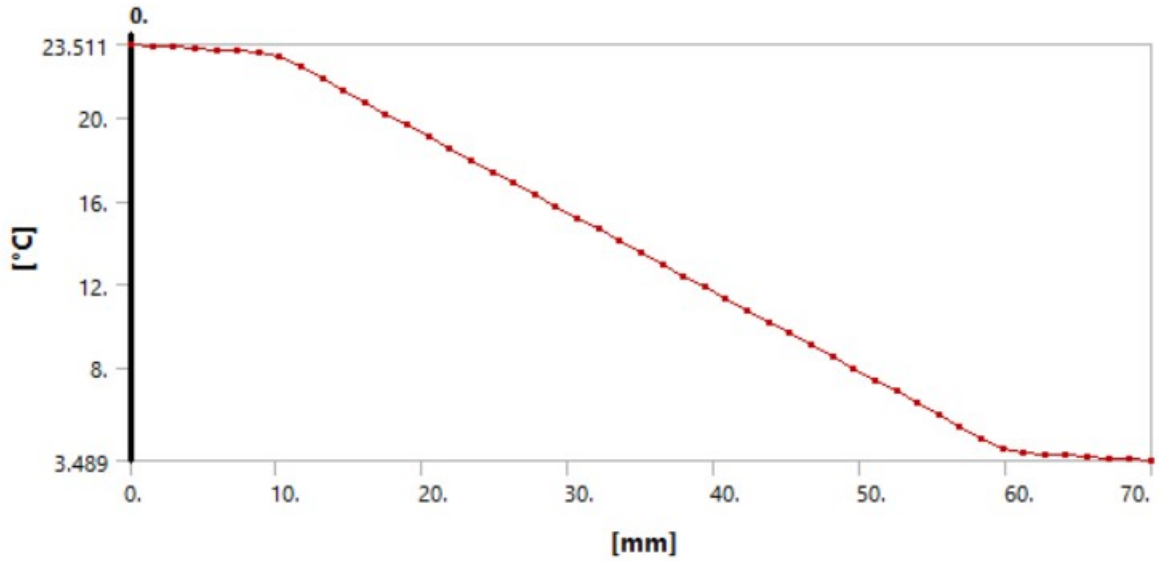


Figura 21: Gradiente de temperatura en panel de celulosa

En el gráfico anterior, el núcleo de celulosa reduce significativamente la transferencia de calor de un extremo a otro, cumpliendo con las temperaturas del confort humano.

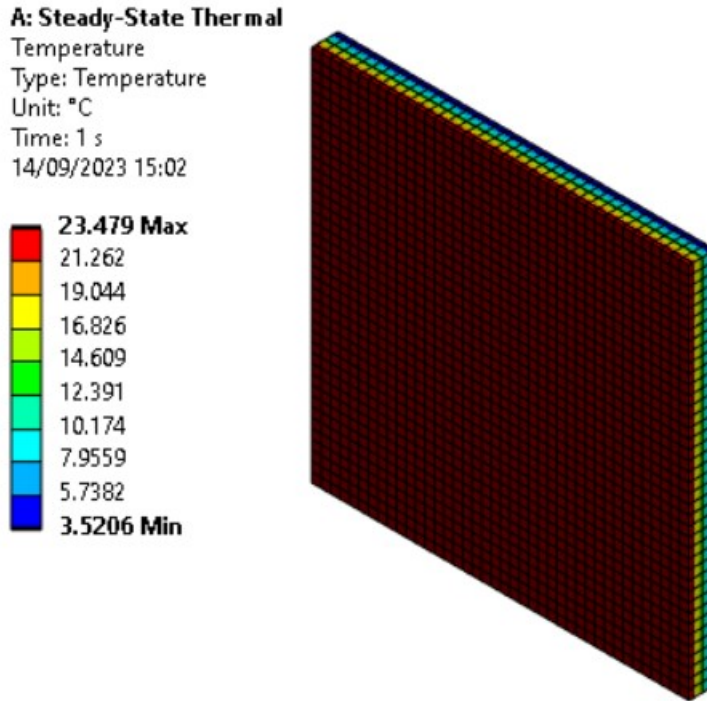


Figura 22: Variación de temperatura en panel de algodón

En la Figura 22, representa la variación de temperatura en el panel de algodón, la temperatura máxima obtenida indica el valor de temperatura dentro del hogar, indicando que este es un material aislante que cumple con los requisitos del confort humano.

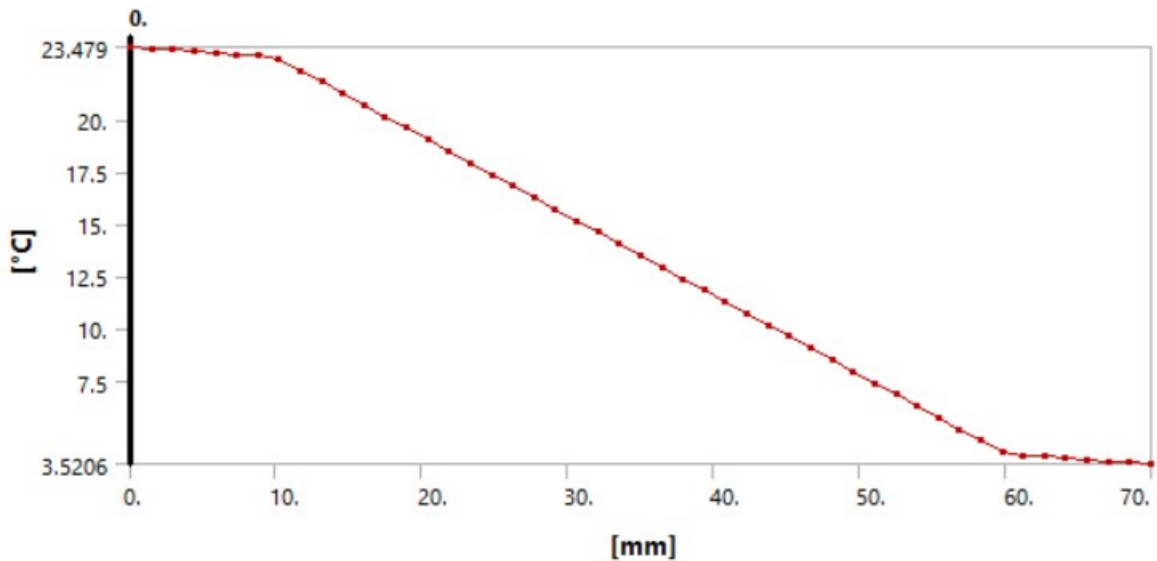


Figura 23: Gradiente de temperatura en panel de algodón

El gráfico anterior, indica el buen material aislante que es el panel de algodón, dado que

este presenta mínimas pérdidas de calor, al mantener la temperatura del interior de hogar en el confort térmico.

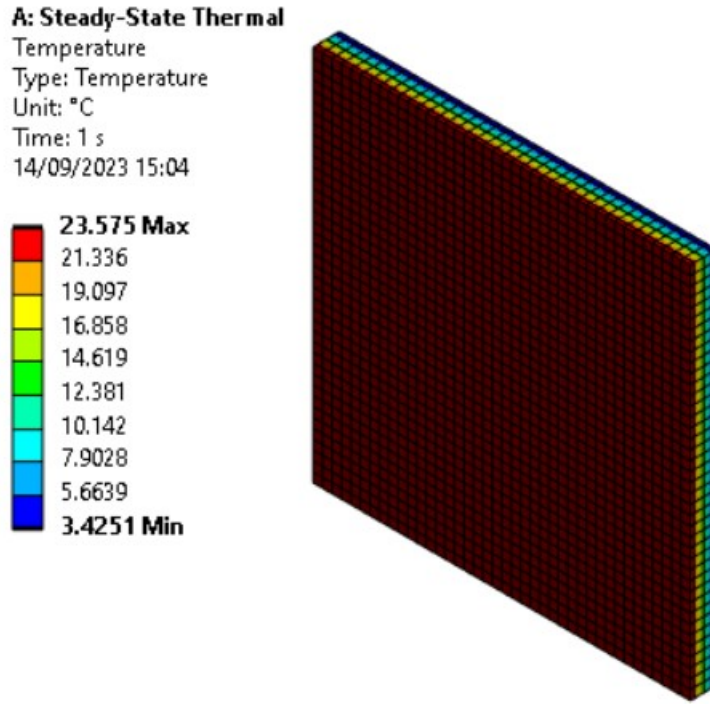


Figura 24: Variación de temperatura en panel de corcho aglomerado

La Figura 24, presenta la variación de temperatura del panel de corcho aglomerado. Este material logro mantener la temperatura del interior del hogar en el rango de temperatura del confort térmico.

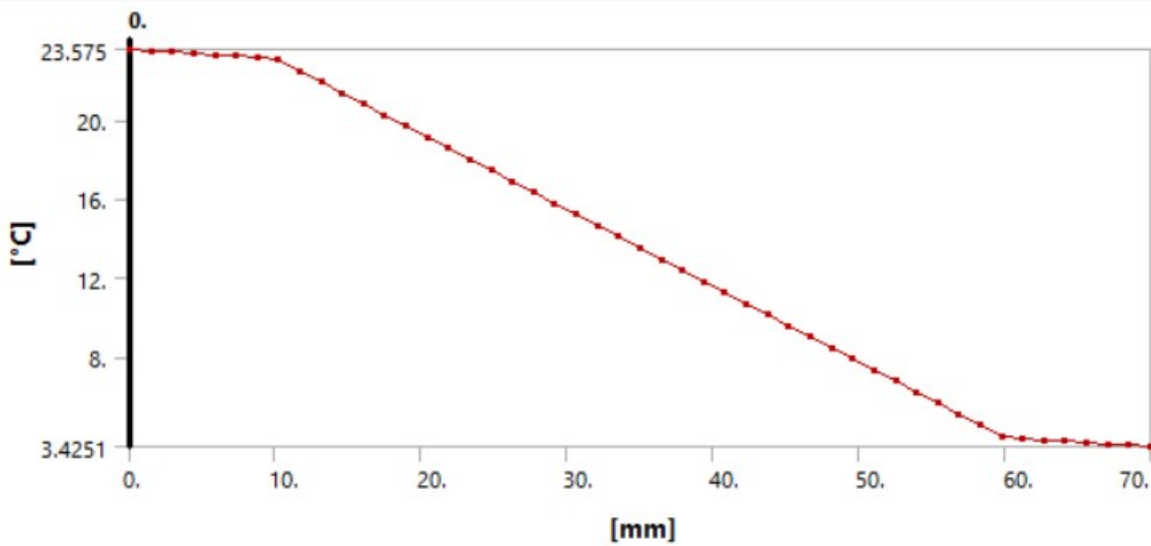


Figura 25: Gradiente de temperatura en panel de corcho aglomerado

En la Figura 25, indica que la transferencia de calor a través del panel de corcho aglomerado es baja, dado que la diferencia de temperatura en ambos extremos es significativa, manteniendo la temperatura dentro del hogar en el rango de temperatura del confort humano.

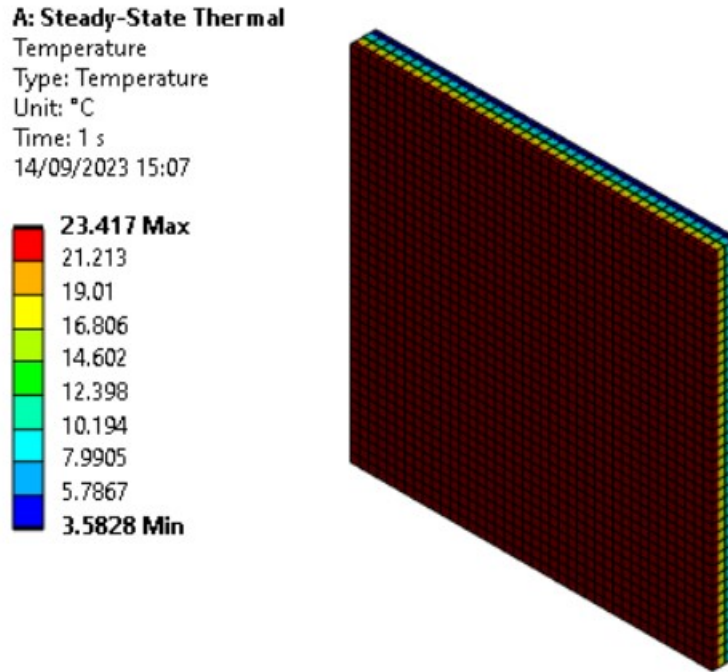


Figura 26: Variación de temperatura en panel de fibra de madera

En la Figura 26, presenta el panel de fibra de madera, dado a sus características térmicas, este logro mantener la temperatura del confort humano en el extremo ubicado en el interior del hogar.

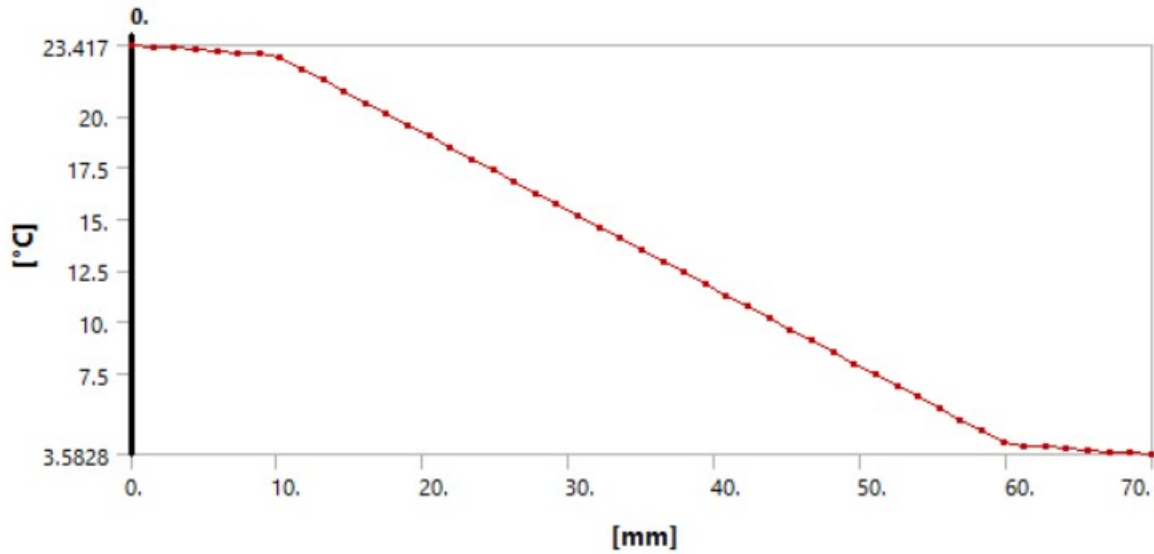


Figura 27: Gradiente de temperatura en panel de fibra de madera

La figura anterior, presenta la transferencia de calor en el panel de fibra de madera, en este caso el material cumple con las necesidades del confort, dado que la temperatura máxima logra mantenerse dentro del rango del confort humano.

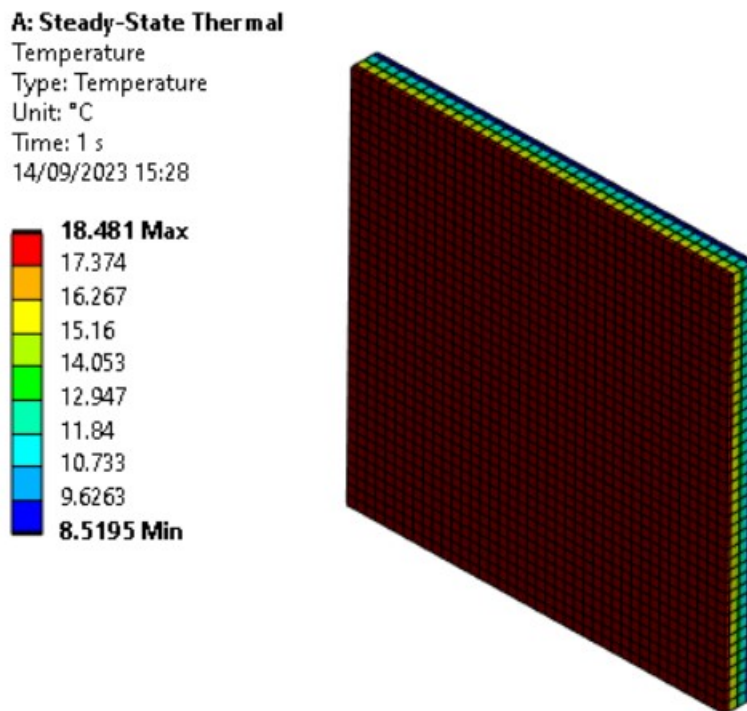


Figura 28: Variación de temperatura en pared de adobe

En la Figura 28, se presenta una pared de adobe, se determinó que este material presenta

mayores pérdidas de calor a comparación de los otros materiales aislantes. Aunque este no cumple con las necesidades del confort humano, se determinó que necesita mayor espesor para cumplir con los rangos temperatura necesarios para cumplir con el confort humano.

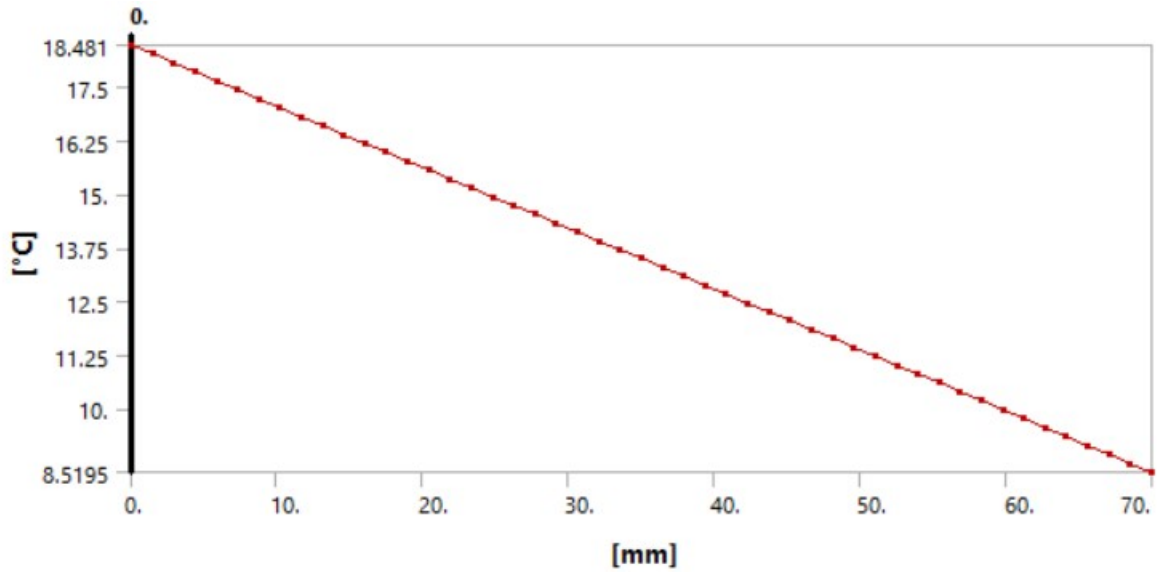


Figura 29: Gradiente de temperatura en pared de adobe

En la Figura 29, indica que el material adobe es un material superior al concreto armado, pero para que cumpla con los rangos de temperatura del confort humano necesita un mayor espesor.

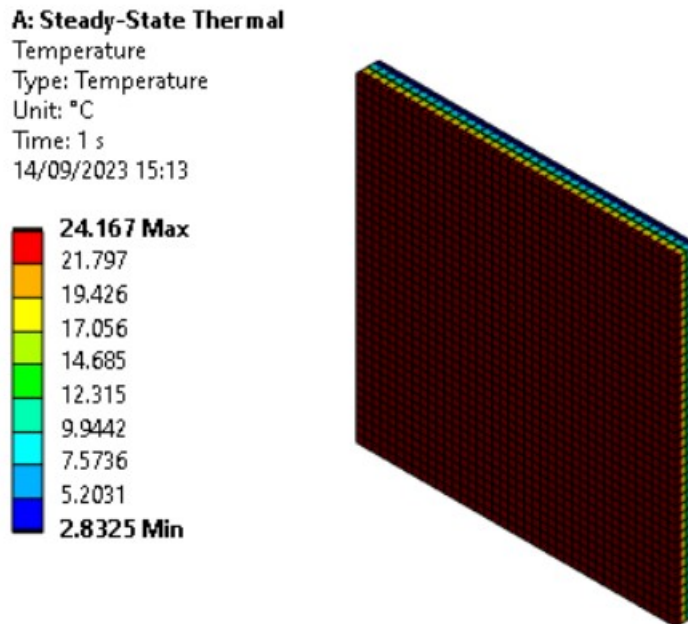


Figura 30: Variación de temperatura en panel de fibra de coco

En la Figura 30, se presenta un panel de fibra de coco, este es un material que cuenta con características térmicas superiores gracias a su fibra. Este material cumple con el rango de temperatura del confort humano, teniendo una temperatura máxima de 24.17 grados centígrados.

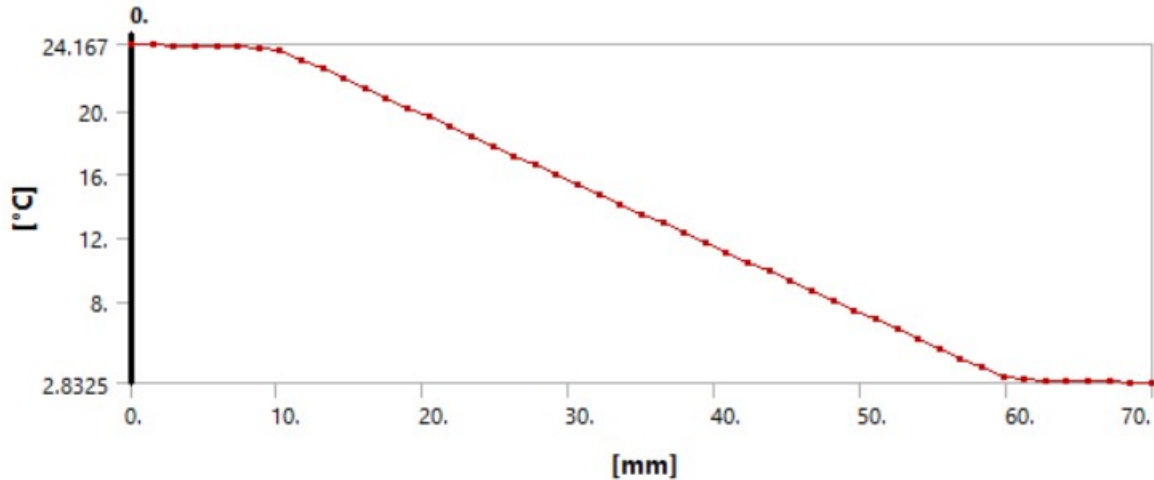


Figura 31: Gradiente de temperatura en panel de fibra de coco

En la Figura 31, demuestra que la transferencia de calor de la fibra de coco es menor a comparación de otros materiales aislantes dado que la temperatura máxima obtenida fue superior al de los demás materiales, indicando que es el material con menores pérdidas de calor.

Perdidas de calor	
Material	W
Concreto armado	93.172
Lana de poliéster	14.572
Celulosa	14.89
Algodón	15.206
Corcho aglomerado	14.251
Fibra de madera	15.828
Adobe	65.195
Fibra de coco	8.3255

Cuadro 4: Pérdidas de calor en panel por material

En el Cuadro 4, se presentan las pérdidas de calor de cada material, el material que más destacó fue la fibra de coco, esto es debido a sus características térmicas que le proporciona su fibra. Cabe mencionar que el adobe a pesar de presentar mayores pérdidas de calor al aumentar su espesor este podría obtener resultados similares a los demás aislantes.

Posteriormente se realizó la segunda simulación de un hogar en las condiciones climáticas establecidas para observar el flujo de calor en paneles y observar el resultado de temperatura dentro del hogar.

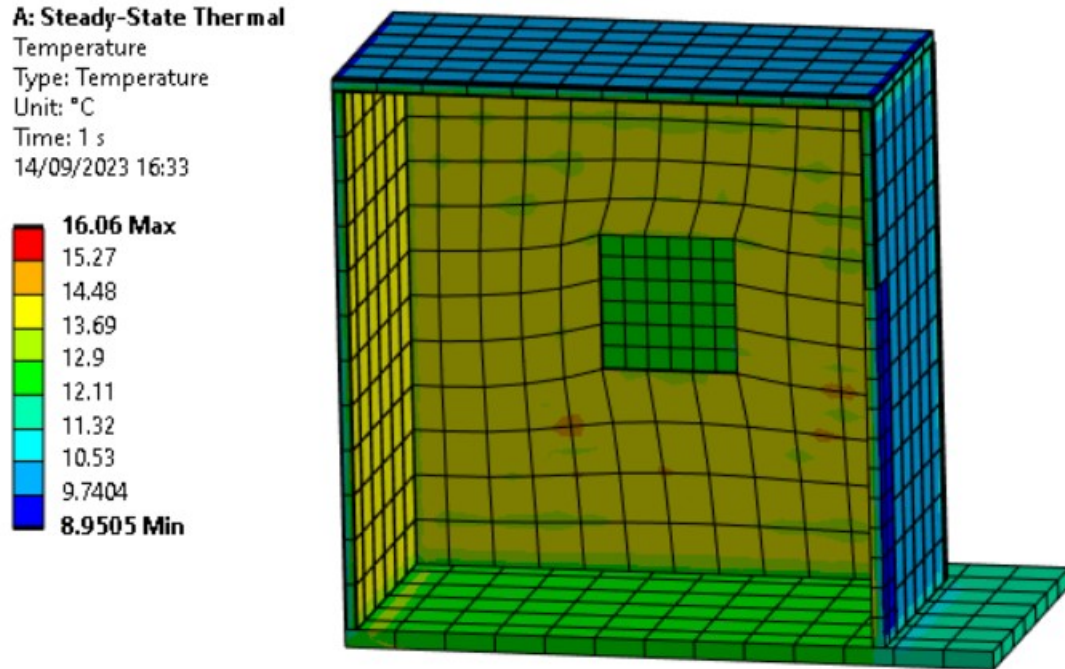


Figura 32: Variación de temperatura en casa de concreto armado

En la Figura 32, se presenta la simulación de un hogar elaborado con concreto armado, se obtuvo en el interior del hogar una temperatura en el rango de 13.69 a 14.45 grados centígrados, indicando que el ambiente dentro del hogar no cumple con el rango de temperatura del confort humano.

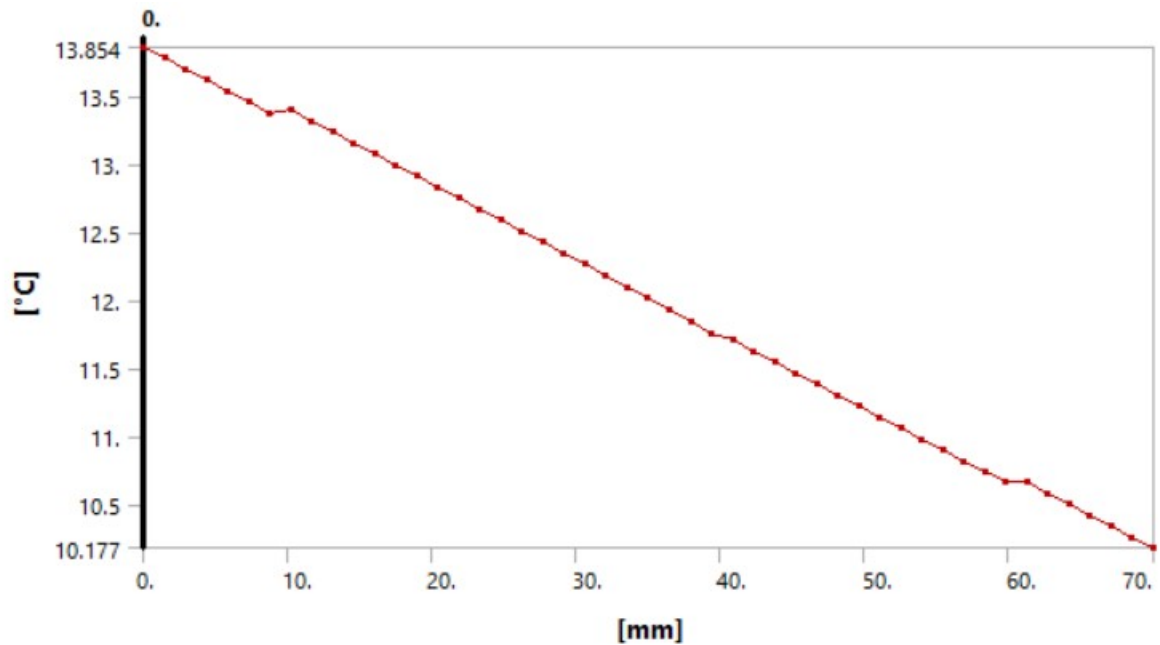


Figura 33: Gradiente de temperatura en casa de concreto armado

En la Figura 33, se presenta la transferencia de calor en la casa de concreto armado. se observa que el valor de temperatura máxima es cercano a los 14 grados centígrados, es un valor esperado ya que este material no es un aislante por lo tanto no logra cumplir con el rango de temperaturas del confort humano.

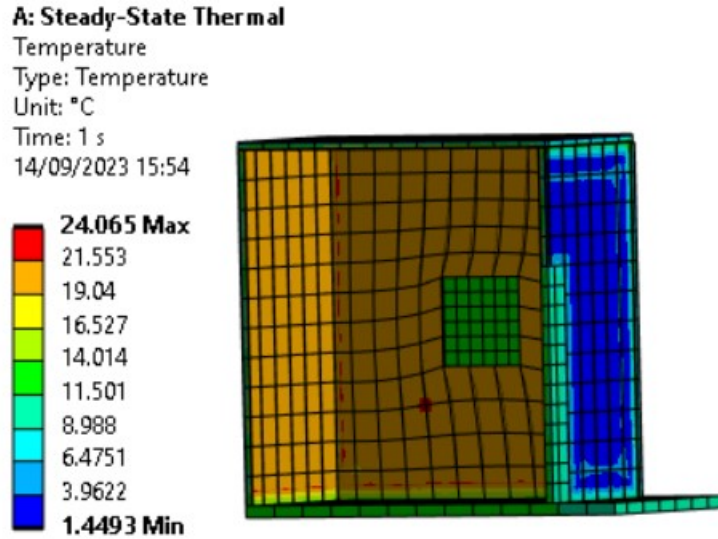


Figura 34: Variación de temperatura en casa con paneles de lana de poliéster

En la Figura 34, se presenta una casa elaborada de paneles de lana de poliéster, dentro del hogar la temperatura se mantiene en un rango de 24.07 grados centígrados, por lo que se mantiene en el rango de temperatura del confort humano.

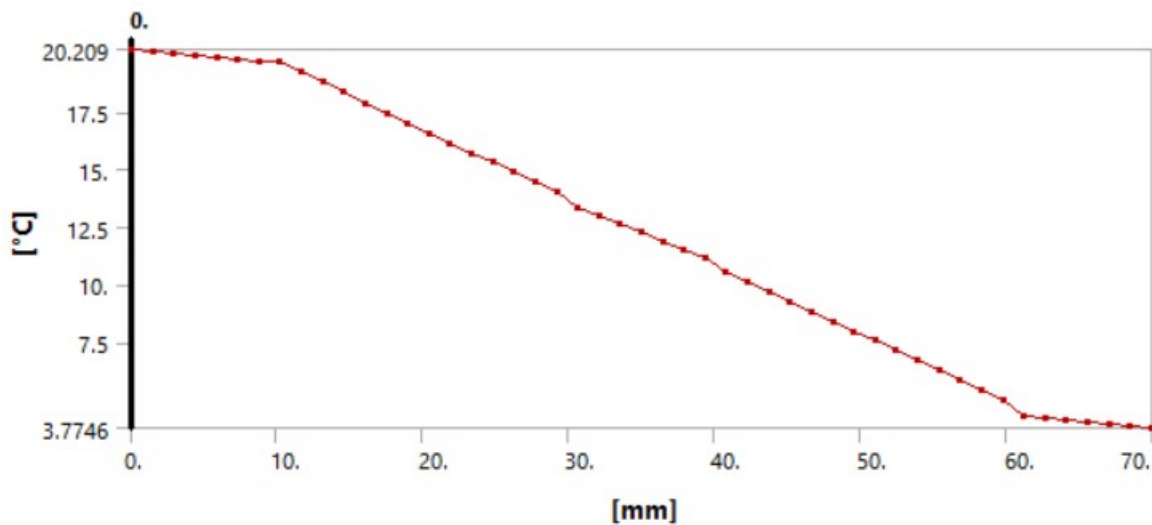


Figura 35: Gradiente de temperatura en casa con paneles de lana de poliéster

En la Figura 35, se presenta el gráfico de transferencia de calor en el panel de lana de poliester, la temperatura máxima obtenida fue de 20.21 grados centígrados siendo un valor cercano al confort humano, el gráfico indica que las pérdidas de calor son bajas debido a que la temperatura del interior sigue manteniendose en valores cercanos al confort.

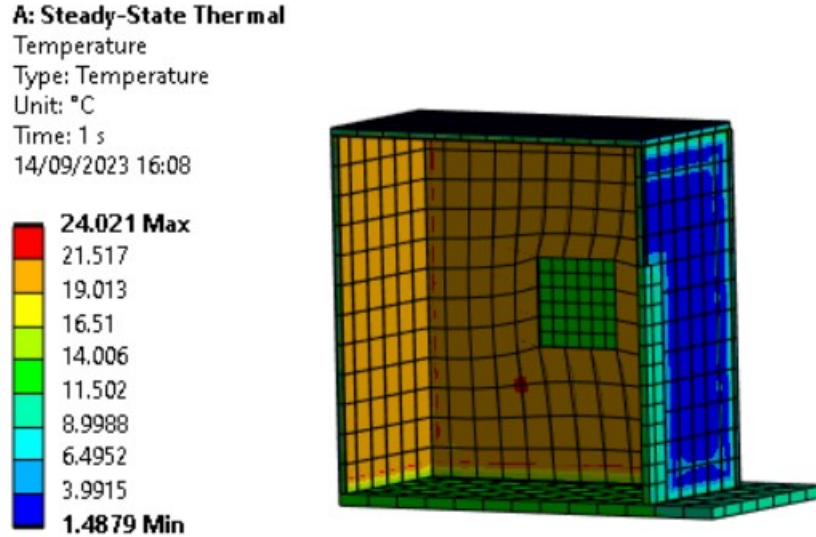


Figura 36: Variación de temperatura en casa con paneles de celulosa

En la Figura 36, se presenta la simulación de la casa elaborada con paneles de celulosa, se obtuvo una temperatura máxima de 24.02 grados centígrados, pero la temperatura que prevalece dentro del hogar se de 21.5 grados centígrados, un valor cercano al rango de temperatura del confort humano.

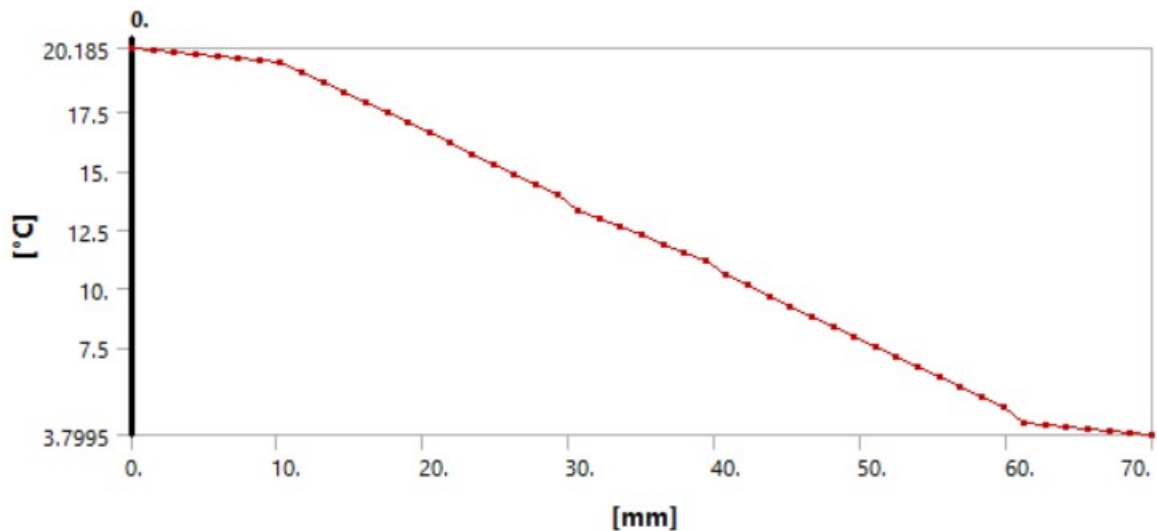


Figura 37: Gradiente de temperatura en casa con paneles de celulosa

El gráfico anterior, demuestra la transferencia de calor en la casa de paneles de celulosa, se determinó que las pérdidas de calor son menores a comparación del concreto armado, este material mantuvo temperaturas cercanas al confort humano.

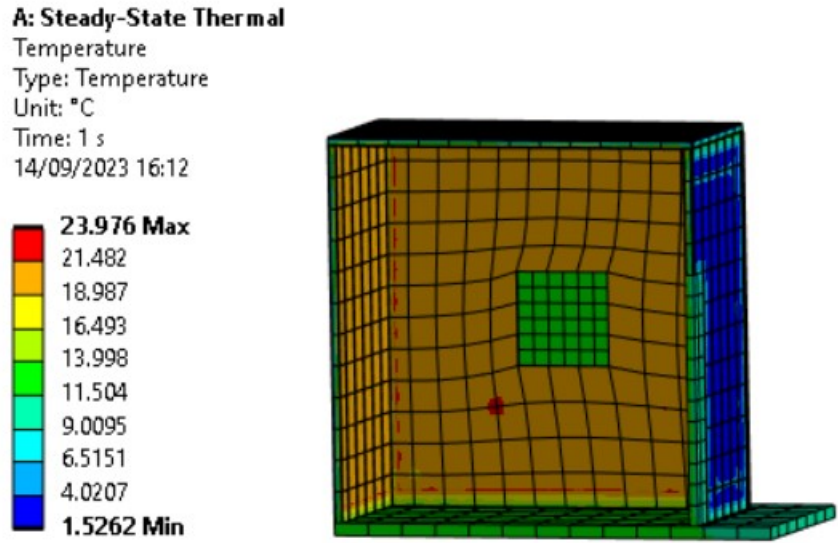


Figura 38: Variación de temperatura en casa con paneles de algodón

En la Figura 38, se presenta la simulación de la casa elaborada con paneles de algodón, la temperatura que predomina dentro del hogar es de 21.48 grados centígrados siendo un valor cercano al confort humano.

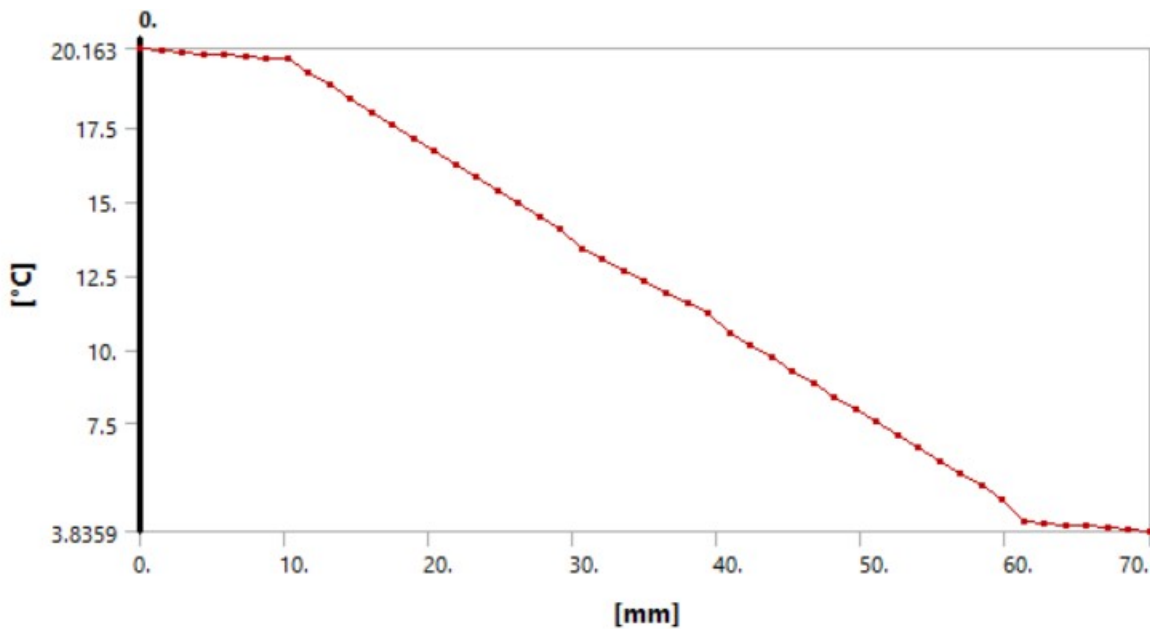


Figura 39: Gradiente de temperatura en casa con paneles de algodón

En la Figura 39, presenta el gráfico de transferencia de calor de los paneles de algodón, en este caso se confirma que si se reducen las pérdidas de calor a través del panel.

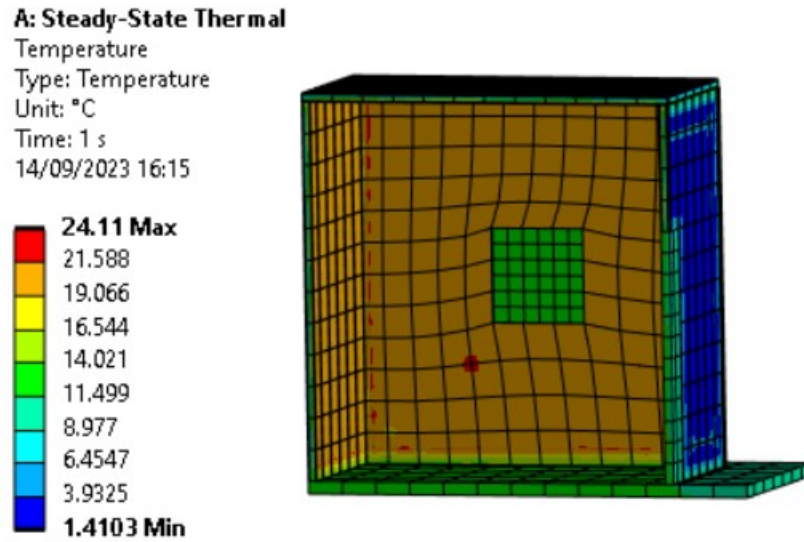


Figura 40: Variación de temperatura en casa con paneles de corcho aglomerado

En la Figura 40, se presenta la simulación de la casa elaborada con paneles de corcho aglomerado, cabe mencionar que la temperatura dentro del hogar se mantiene cercana a 21.59 grados centígrados, siendo un valor cercano al confort humano.

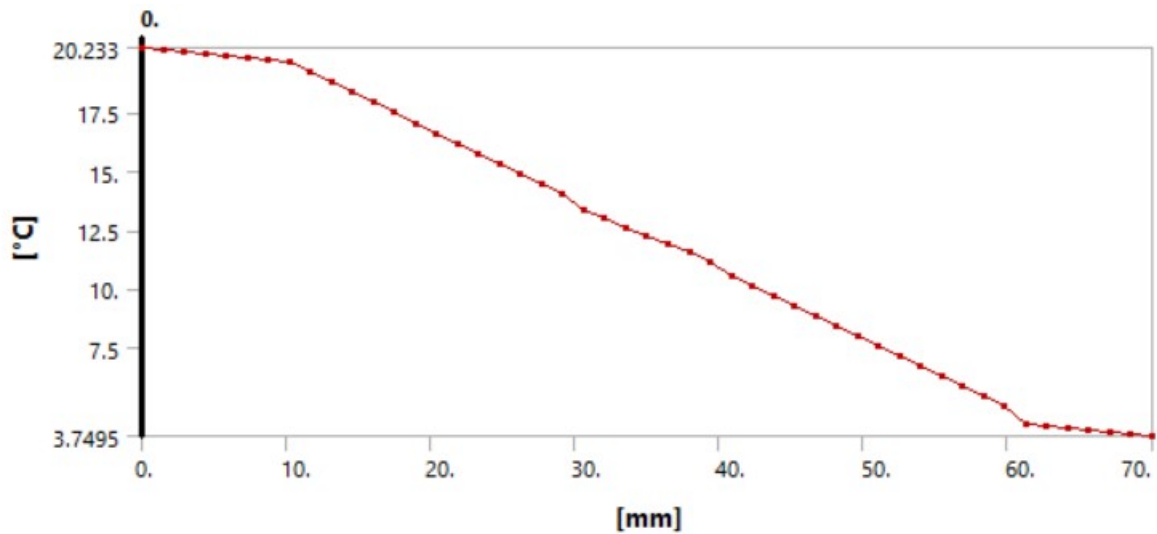


Figura 41: Gradiente de temperatura en casa con paneles de corcho aglomerado

En la Figura 41, se presenta el gráfico de transferencia de calor en la casa analizada, se reducen significativamente las pérdidas de calor, manteniendo temperaturas cercanas al confort térmico.

A: Steady-State Thermal

Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 1 s
14/09/2023 16:18

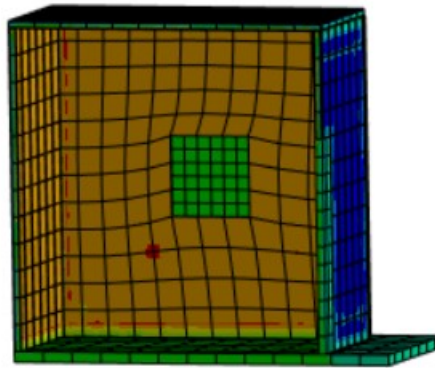
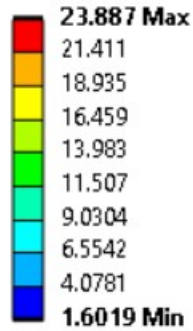


Figura 42: Variación de temperatura en casa con paneles de fibra de madera

En la Figura 42, se presenta la simulación de la casa con paneles de fibra de madera, la temperatura que predomina dentro de la casa se mantiene alrededor de 21.41 grados centígrados, temperatura cercana al confort humano.

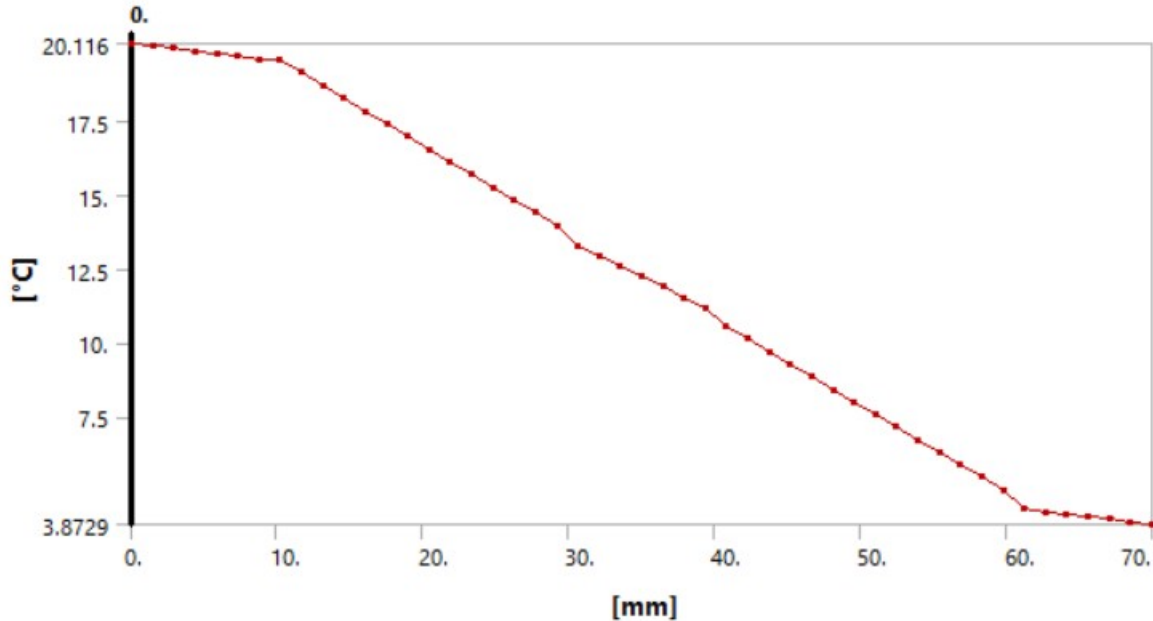


Figura 43: Gradiente de temperatura en casa con paneles de fibra de madera

El gráfico anterior, indica que la fibra de madera reduce las pérdidas de calor dado que la temperatura del interior del hogar se mantiene en valores cercanos al confort humano.

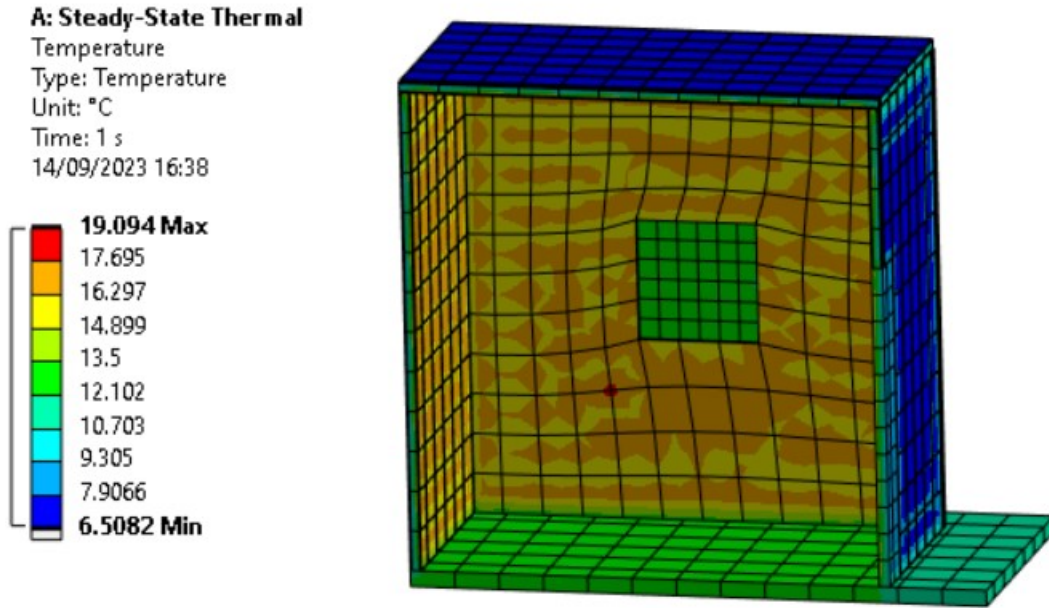


Figura 44: Variación de temperatura en casa de adobe

En la Figura 44, se presenta la simulación de una casa elaborada de adobe, cabe mencionar que los valores que predominan dentro de la casa son inferiores al confort humano, esto es debido al espesor en el que fue analizado, ya que este necesita de un mayor espesor para cumplir con el rango de temperatura del confort humano.

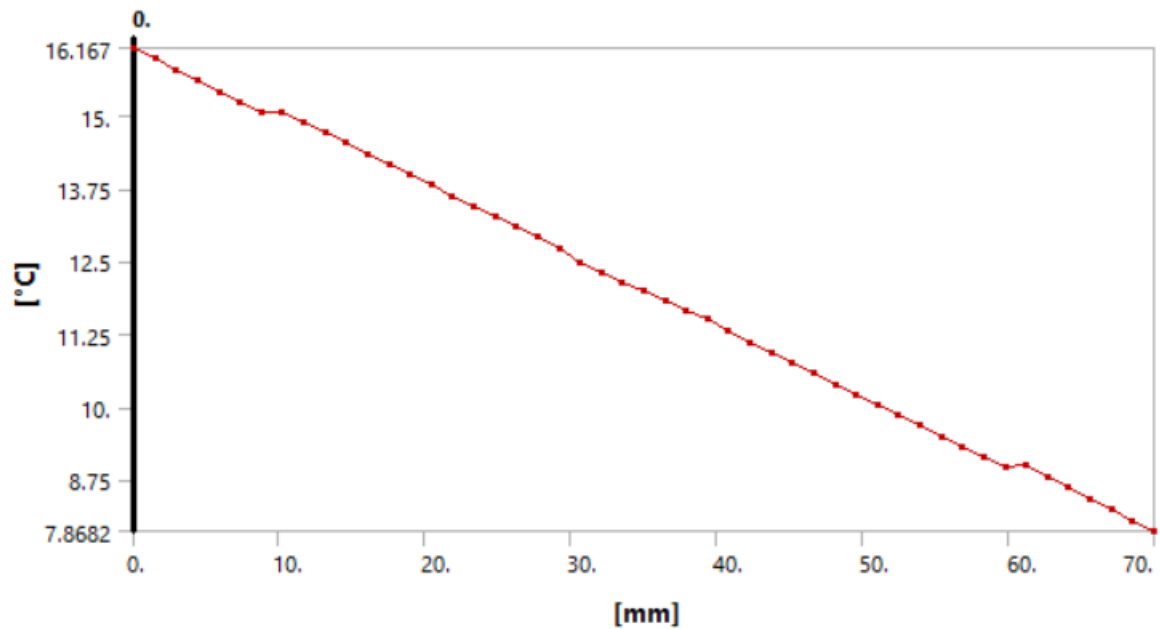


Figura 45: Gradiente de temperatura en casa de adobe

En la Figura 45, se presenta el gráfico de transferencia de calor en casa de adobe, presenta peores características térmicas debido a su baja transmitancia térmica, indicando mayores pérdidas de calor.

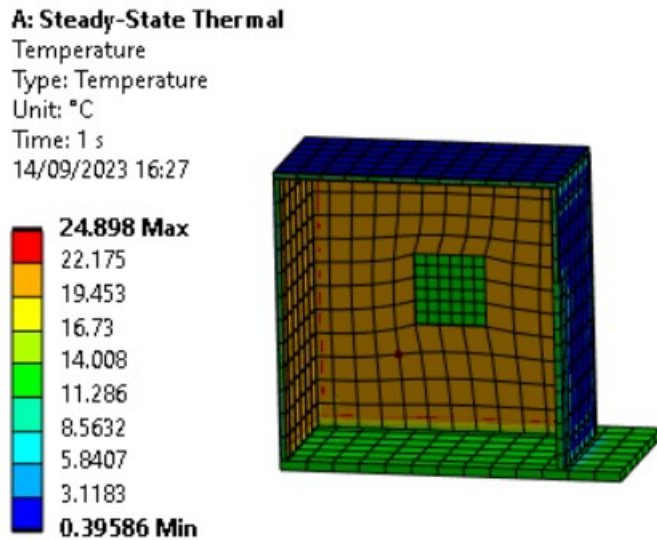


Figura 46: Variación de temperatura en casa con paneles de fibra de coco

En la Figura 46, presenta la simulación de la variación de la temperatura del panel de fibra de coco. Este material presenta mejores características térmicas debido a sus propiedades, la temperatura promedio dentro del hogar se encuentra alrededor de 22.18 grados centígrados, logrando el rango de temperatura del confort térmico. Cabe mencionar que debido a su transmitancia térmica, mantiene temperaturas más altas con espesores más pequeños.

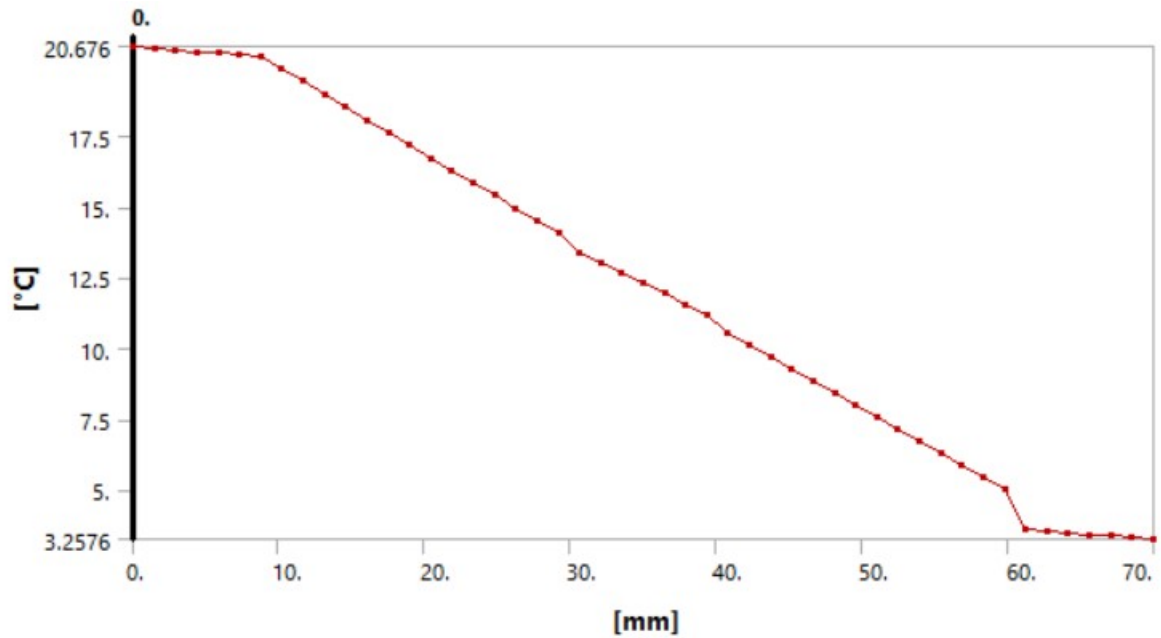


Figura 47: Gradiente de temperatura en casa con paneles de fibra de coco

En la Figura 47, se presenta el gráfico de transferencia de calor la casa elaborada de paneles de fibra de coco. Se determinó que este material cuenta con las menores pérdidas de calor.

Pérdidas de calor	
Material	W
Concreto armado	3675.1
Lana de poliéster	840.77
Celulosa	852.22
Algodón	863.56
Corcho aglomerado	829.22
Fibra de madera	885.97
Adobe	2670
Fibra de coco	602.54

Cuadro 5: Pérdidas de calor en casa por material

En el Cuadro 5, se presentan las perdidas de calor de cada material en las mismas condiciones climáticas del ambiente.

Discusión de resultados

Al realizar la comparación de los resultados teóricos con los obtenidos por el software ANSYS en los cuadros 3 y 4, se puede establecer una correlación entre los cálculos gracias a su similitud. Esto confirma que la simulación realizada es una herramienta fiable para la realización del análisis de pérdidas de calor en hogares.

En la primera simulación se analizaron los paneles con los distintos materiales aislantes para evaluar el comportamiento del flujo de calor, en comparación con una pared construida de concreto armado. En la Figura 16 se representa la variación de temperatura en la pared de concreto armado, en esta la temperatura es de 15.68 grados centígrados en su parte más caliente y de 11.32 grados centígrados en su parte fría debido al valor de transmitancia térmica de 1.5 W/mK. En la Figura 17 presenta un gráfico que ilustra flujo de calor a través de la pared, los valores tanto para el ambiente cálido como para el frío están alejados a los valores establecidos. Esta disparidad se atribuye al valor transmitancia térmica dado que este material permite que el calor se transfiera fácilmente indicando que no es un material aislante lo cual genera mayores pérdidas de calor.

Otro material que se sometió a análisis para ser utilizado en una pared, debido a sus características, fue el adobe. Este material fue planteado debido a los materiales de su fabricación, dado que estos son obtenidos en la naturaleza. La Figura 28 representa la variación de la temperatura en una pared de adobe, se puede observar que la parte mas caliente esta a 18.48 grados centígrados y la más fría se encuentra a 8.52 grados centígrados. A comparación del concreto armado este material no tiene tantas perdidas de calor, esto se debe a su transmitancia térmica de 0.46 W/mK. La Figura 29 ilustra el flujo de calor en el adobe. A pesar de ser un material aislante térmico este no logra mantenerse dentro del rango de temperatura óptimo para el confort humano. Esto se debe a que su valor de transmitancia térmica, el cual se considera alto a comparación de otros materiales aislantes térmicos y al hecho de que el grosor de la pared fue de 70 milímetros. En un caso donde la pared tenga un mayor grosor probablemente cumpla con los estándares de confort humano.

En las figuras 18, 20, 22, 24, 26 y 30, muestran los paneles aislantes térmicos evaluados. Estos paneles obtuvieron resultados similares, como era de esperarse, dado a sus valores similares de transmitancia térmica y que estos fueron sometidos al mismo grosor de panel y a las mismas condiciones climáticas establecidas en la metodología, siendo como resultado de la transferencia de calor a través del panel. La variación de la temperatura de los paneles analizados son los siguientes:

Material	T. mínima	T. máxima
Lana de poliéster	3.46	23.54
Celulosa	3.49	23.51
Algodón	3.52	23.48
Corcho aglomerado	3.43	23.58
Fibra de madera	3.58	23.42
Fibra de coco	2.83	24.17

Cuadro 6: Variación de temperatura en grados centígrados de paneles aislantes térmicos

Los gráficos de flujo de calor de los paneles aislantes evaluados en las figuras 19, 21, 23, 25 y 31, exhiben un comportamiento notablemente uniforme. Esto es debido a la similitud de las propiedades térmicas de los materiales que conforman los paneles. Es evidente notar que los resultados obtenidos en los gráficos que los materiales aislantes térmicos de los paneles cumplen con el requisito del rango de temperaturas del confort térmico, esto es de esperarse debido a sus valores similares de transmitancia térmica y al hecho que fueron aplicadas en las mismas dimensiones de panel.

En el Cuadro 4 se detallan las pérdidas de calor de los materiales analizados. La pared de concreto armado presenta las mayores pérdidas de calor debido a su falta de propiedades térmicas, ya que cuenta con un valor de transmitancia térmica fuera del rango de los materiales aislantes térmicos. El material que presenta las menores pérdidas de calor es la fibra de coco, este se destaca por su estructura porosa la cual crea bolsas de aire actuando como aislante térmico natural, además de su bajo valor de transmitancia térmica, el cual proporciona propiedades térmicas superiores a las de otros aislantes.

Los materiales como la lana de poliéster, celulosa, algodón, corcho aglomerado y fibras de madera tienen valores de pérdida de calor similares, los cuales los convierten en opciones sólidas como materiales aislantes térmicos para la construcción. El adobe presenta menos pérdidas de calor que el concreto armado, pero mayores a los demás materiales aislantes evaluados, esto indica que tiene cierta capacidad aislante, el cual pueda ser útil para utilizarse en otras circunstancias que pueda cumplir con los rangos de temperatura del confort humano.

En la segunda simulación, se modeló una casa dentro de un ambiente frío, en este caso de Quetzaltenango, Guatemala. La temperatura ambiente establecida es de 2 grados centígrados, con la premisa de que el interior del hogar debe mantenerse a temperatura del confort humano.

En la Figura 32, se representa la variación de temperatura de una casa construida de concreto armado. Es evidente que la variación de temperatura es de 16.06 grados centígrados en su parte más caliente y 8.95 grados centígrados en la parte más fría, que sería la parte

exterior del hogar. En la Figura 32 también muestra que la temperatura que predomina dentro del sistema se encuentre entre los valores de 14.48 a 15.27 grados centígrados. Esto resulta que el ambiente dentro de la casa sea frío, haciendo que no cumpla con el confort térmico, lo cual era previsible debido a que el material tiene un valor de transmitancia térmica alta y no esta hecho para ser un material aislante.

Posteriormente se realizó la simulación con el material adobe, este tiene una similitud con el concreto armado en la construcción, dado que este sería el único material que conformaría la construcción de la casa. En la Figura 44 se presenta el comportamiento de la temperatura dentro de la casa. En la figura se ilustra que las paredes tienden a tener un rango de temperatura dentro de los 16.297 y 17.695 grados centígrados. Este material supera al concreto armado, dado que el rango de temperatura es ligeramente superior, pero sigue sin cumplir con los rangos de temperatura del confort humano. La explicación para esto es su valor de transmitancia térmica que es mas alto que el de otros materiales aislantes, además, la casa cuenta con una puerta y dos ventanas con valores de transmitancia térmica estándares, lo cual permite una mayor perdida de calor. Como se observa en la Figura 45 se ilustra el gráfico de flujo de calor a través de las paredes del material teniendo en cuenta las ventanas y puertas, los valores mas altos y bajos de temperatura no cumplen con los requisitos del confort humano, por lo que sugiere que el grosor utilizado para este material sigue teniendo pérdida de calor.

En las figuras 34, 36, 38, 40 y 42, 46 se muestran los resultados de la simulación para la casa con los distintos paneles aislantes térmicos. Estos obtuvieron resultados similares, como en la simulación anterior, dado a sus valores de transmitancia térmica similares. La variación de temperatura es la siguiente para cada material.

Material	T. mínima	T. máxima
Lana de poliéster	1.45	24.07
Celulosa	1.48	24.02
Algodón	1.53	23.98
Corcho algomerado	1.41	24.11
Fibra de madera	1.60	23.89
Fibra de coco	0.39	24.90

Cuadro 7: Variación de temperatura en grados centígrados para casa por material aislante térmico

El Cuadro 7 proporciona una visión generad de los materiales propuestos para el análisis. Se observa que la temperatura máxima mantenida en el interior de la casa, los materiales logran temperaturas máximas dentro del rango óptimo de temperatura para lograr el confort térmico. Esto indica que son materiales aislantes térmicos que pueden utilizarse para la construcción y para ayudar al confort térmico dentro de los hogares.

Es importante destacar que la fibra de coco se destaca como el material con mejores resultados de aislamiento térmico debido a la variación de temperaturas que este presenta en la simulación. Esto se debe a las propiedades de la fibra de coco, las cuales le otorgan excelentes características térmicas, lo cual le proporciona una transmitancia térmica más baja de todos los materiales propuestos. Esto indica que la fibra de coco es más eficiente para reducir las perdidas de calor que otros materiales y por ende necesita de un menor

grosor de pared para lograr mejores resultados que los demás materiales.

El Cuadro 5 se presentan las pérdidas de calor que presentan las viviendas equipadas con los distintos materiales aislantes térmicos. Es evidente que la casa fabricada con concreto armado es el que presenta las mayores pérdidas de calor como es de esperarse, ya que no es un material aislante. Esto motivo a realizar el análisis para proponer materiales aislantes que reducirían el calor de la casa en la simulación.

El adobe, si bien logra reducir las pérdidas de calor en la simulación, no entrega los valores esperados para cumplir con las condiciones de confort térmico. No obstante, es un material para tomar en cuenta, pero necesita mayores grosores de pared para mejorar su desempeño como material aislante térmico.

Es importante resaltar que la fibra de coco es el material que presenta los mejores resultados con respecto a las pérdidas de calor, como se aprecia en el Cuadro 4 este disminuye las pérdidas de calor de manera más eficiente que los demás materiales propuestos, esto indica que necesita menos grosores de pared para lograr un mejor aislamiento.

Además, los materiales aislantes como la lana de poliéster, celulosa, algodón, corcho aglomerado, y fibra de madera; reducen de manera muy eficiente las pérdidas de calor, por lo tanto, son material a tomar en cuenta para la construcción de hogares para mejorar el confort térmico.

Posteriormente se estableció los precios de los materiales analizados.

Material	Presentación	Precio
Lana de poliéster	Rollo de lana de poliéster	Q 425.00
Celulosa	Bloque de celulosa 1000 x 600 x 100 en mm	Q 223.51
Algodón	Panel de 1250x400 mm	Q 140.73
Corcho aglomerado	Panel de 9 mm x 24 in x 36 in	Q 160.00
Fibra de madera	Bloque de fibra de madera 500 x 250 x 500 mm	Q 319.45
Adobe	Ladrillos de 34 x 17 x 7 cm	Q 115.25
Fibra de coco	Bloque comprimido de 5 kg de 40 x 50 x 25	Q 78.00
Plywood	Plancha de 4 x 8 x 3/4 in	Q 294.99

Cuadro 8: Precio de materiales aislantes térmicos

En el Cuadro 8, se presentan el precio de todos los materiales aislantes térmicos analizados, cabe mencionar que se agregó el costo plywood dado que al tratarse de paneles aislantes térmicos, este debe incluirse en el análisis de costos. El único material al que no se le agrega este costo es el material adobe, dado que es un material único y no necesita de combinarse con otros materiales.

Se determinó que el material más económico es el adobe, pero este es un material poco eficiente, dado que presenta muchas pérdidas de calor, por lo que no cumple con los requisitos de temperatura del confort humano.

El material aislante con mejor costo/beneficio es la fibra de coco. Este material presenta los mejores resultados, reduciendo las pérdidas de calor significativamente y manteniendo

los rangos de temperatura dentro del confort térmico. La fibra de coco tiene un costo total de Q372.99 por lo que indica que es la mejor opción a bajo costo a comparación de los demás aislantes térmicos analizados.

- Se logró determinar diferentes materiales aislantes térmicos adecuados para la construcción de viviendas. Los materiales: lana de poliéster, celulosa, algodón, corcho aglomerado, fibra de madera y fibra de coco; reduciendo las pérdidas de calor en viviendas hasta un 83 por ciento en comparación con los resultados obtenidos con el concreto armado.
- Se logró determinar y evaluar los materiales térmicos propuestos en la investigación para la implementación en paredes y techos de viviendas. Los resultados indican que los materiales cumplen con las características de un material aislante térmico a excepción del adobe, el cual no cumple con el rango de temperatura del confort humano dado a su alta transmitancia térmica de 0.46 W/mK , por lo que se debería ampliar el espesor del material para que este sea efectivo. La fibra de coco presentó los mejores resultados, reduciendo significativamente las pérdidas de calor hasta un 83 por ciento en comparación con los resultados obtenidos con el concreto armado y manteniendo la temperatura de 22 grados centígrados dentro del hogar, logrando el confort humano.
- Se logró comparar los flujos de calor de los materiales analizados. Estas comparaciones revelaron diferencias significativas en los materiales aislantes a comparación con el concreto armado. Como resultado de este análisis, se identificaron que los materiales superiores al concreto armado son: lana de poliéster, celulosa, algodón, corcho aglomerado, adobe, fibra de madera y fibra de coco, siendo el mejor aislante la fibra de coco dado que presenta un menor gradiente de temperatura obteniendo temperaturas de 22 grados centígrados y obteniendo perdidas de calor de 602.54 W .
- Se determinó que una de las estrategias más efectivas para prevenir las pérdidas de calor en hogares elaboradas con concreto armado que presentan el efecto de porosidad, es la implementación de materiales aislantes térmicos. El corcho aglomerado y la fibra de coco son ideales para su aplicación en las paredes de concreto armado debido a su sencilla instalación y por sus características térmicas, funcionando como selladores de grietas reduciendo las pérdidas de calor existentes.

- Se determinaron los coeficientes de transmitancia térmica en los diversos materiales. Los materiales aislantes presentaron valores similares por debajo de los 0.50 W/mK debido a sus características térmicas, sin embargo, la fibra de coco presentó un coeficiente menor debido a sus características naturales siendo este de 0.019 W/mK, el cual le permite reducir las pérdidas de calor con grosores menores a los demás materiales.

El análisis se realizó bajo las mismas medidas de grosor de pared para cada material para realizar comparaciones entre los aislantes térmicos y determinar el más eficiente para reducir pérdidas de calor. Es pertinente llevar a cabo investigaciones enfocadas en el grosor de paredes dado que influyen en el rendimiento de los materiales aislantes térmicos. Se enfocaría en la determinación del grosor óptimo para cada material en diferentes ambientes para establecer una metodología de construcción en diferentes ubicaciones geográficas.

Muchos de los materiales aislantes térmicos pueden ser combinados entre sí, esto ayudará al rendimiento térmico y a la economía ya que algunos materiales pueden compensar las carencias de otros por lo que se podría determinar cuál es la combinación de materiales aislantes más efectiva.

La implementación de materiales reciclados como aislantes térmicos tiene un gran impacto ambiental, por lo que realizar un análisis más profundo podría ayudar a la evaluación de la huella de carbono y a reducir la contaminación en los ambientes.

Se recomienda realizar un análisis económico detallado sobre el costo/beneficio de los materiales aislantes térmicos propuestos en la construcción de hogares, incorporando una evaluación del tiempo de trabajo y la contribución de mano de obra.

Se recomienda realizar el análisis de pérdidas de calor y temperatura para los materiales aislantes térmicos propuestos en ambientes cálidos y secos, para determinar si estos logran mantener la temperatura dentro del confort humano.

Bibliografía

- AEfA. (S.F.). *Fibra de coco es un material utilizado en cultivo hidropónico y como materia prima para la elaboración de diferentes tipos de sustratos especiales*. AEfA.
- Ávila, P. (2017). *Crucial Building Parameters as a Novel Approach for the Design of Passive Solar Houses in a Mediterranean Climate*. Switzerland: Kaseel.
- Bansal, K. (2019). *Gernot: Climatic zones and rural housing in India*. India: CENMA.
- Basterrechea. (2009). *Guía técnica para el diseño de estructuras en madera* (Tesis doctoral). Universidad del Valle de Guatemala.
- Catalán. (2013). *Estudio de factibilidad de un nuevo modelo de vivienda, a base de contenedores, que sea económico, ecológico y con orientación a la autosostenibilidad que será implementado en el oriente de Guatemala*. (Tesis doctoral). Universidad del Valle de Guatemala.
- CENGEL,
bibinitperiod B. (2015). *Termodinámica: Vol. Octava edición*. McGraw-Hill Education.
- Cortes. (2008). *Análisis térmico de los sistemas constructivos comunes utilizados en techos y muros en vivienda versus la normatividad oficial en el tema, en los diversos bioclimas de México* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México.
- de Mena, J. (S.F.). *Materiales aislantes fabricados con productos reciclados*. Mimbrea.
- Duffie, J. (2018). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York. Singapore.
- García, S. (2016). *Estudio de pinturas aislantes térmicas y su posible aplicación para el ahorro energético en un tipo de vivienda*. Chile: Joannon editoriales.
- GARMENDIA. (2012). *ARQUITECTURA ECOEFICIENTE* (Tesis de maestría). Universidad del País Vasco.
- Haramoto, Y. (2016). *Sustainable settlements: A guide por planners, designers and developers*. West England: Mc-Graw Hill.
- Hauser, G. (2019). *Planungsinstrument für das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden*. Alemania: Baunatal.
- HITEGA. (2021). *Qué es el poliéster lana y sus principales características*. HITEGA.
- INAB. (2015). *ESTRATEGIA NACIONAL DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLE Y USO EFICIENTE DE LEÑA 2013-2024*.

- Izard, J. (2017). *Arquitectura Bioclimática*. Barcelona: Edit Gili.
- Jiménez. (2008). *Estrategias de diseño para brindar confort térmico en vivienda en la ciudad de Loja* (Tesis doctoral). Universidad técnica particular de Loja.
- Lengen, J. (2021). *Man, climate and architecture. Architectural science serves*. London: Publisher Ltd.
- López, F. (2016). *La industrialización posible de la vivienda latinoamericana*. México: Peterson.
- Monasterio, A. (2016). *Estudios ecológicos en los páramos*. Argentina: Editorial Andinos.
- Morán. (2019). *Construir con bambú y sus eficiencias térmicas*. Perú: Ratán.
- Moscoso, J. C. (2016). *EL ADOBE, SUS CARACTERÍSTICAS Y EL CONFORT TÉRMICO* [Accedido el 12 de septiembre de 2023].
- Müller. (s.f.). *Manual de diseño para viviendas con climatización pasiva* (Tesis doctoral). Universidad del Kassel Alemania.
- Plutarco, A. (2017). *Seminario nacional de arquitectura para climas templados y fríos*. Ecuador: Urbanismo Bioclimático.
- Portiño, F. O. C. (2019). *PROPUESTA DE MEJORA TÉRMICA CON PLACAS DE CORCHO AGLOMERADO PARA VIVIENDA UBICADA EN LA COMUNA DE CORONEL* (Tesis doctoral). UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE CONCEPCIÓN.
- Sanchez, B. (2018). *Arquitectura bioclimática: conceptos y técnicas*. <https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/>
- Sare, J. (2019). *Introducción a la construcción bioclimática*. Argentina: Colima Editoriales.
- Solórzano. (2015). *Validación del índice de confort térmico universal en Mexicali, B.C., México*. (Tesis de maestría). Universidad autónoma de Baja California. México.
- Xiao. (2022). *Application of Nanoporous Super Thermal Insulation Material in the Prevention and control of Thermal Hazards in deep mining of metal mines*. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0%5C&sid=06112b41-cbf9-4786-8338-51983abd87f1%40redis>
- Yu. (2022). *Application of Foam-Ceramic Composite Thermal Insulation Material in Traditional Buildings*. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0%5C&sid=cf5dcd06-a35c-48a2-a8be-7bcc036ebd5e%40redis>