

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAS ENVOLVENTES DE LAS VIVIENDAS VIS EN LA CIUDAD DE TUNJA DESDE EL ENFOQUE DE LAS TECNOLOGÍAS LIMPIAS”

Luis Edgardo Fonseca Granados ¹

Universidad Católica de Colombia. Bogotá (Colombia)

Facultad de Diseño, Maestría Diseño Sostenible

Director.

Arquitecto. MCs. Rolando Cubillos, Candidato a Doctor.

Bogotá D.C. Abril 2019

¹ Arq. Luis Edgardo Fonseca. Correo institucional: lefonseca27@ucatolica.edu.co. Egresado de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja.

Licencia Creative Commons



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Resumen.

En Colombia se puede evidenciar la falta de aplicación de conocimiento en los diseños de viviendas VIS, puesto que estos diseños son estandarizados y no tienen en cuenta los diferentes tipos de climas existentes en el país. Entonces cabe preguntarse ¿Cuál es el comportamiento térmico óptimo para el diseño de las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja que cumplan con los requerimientos mínimos de habitabilidad? El propósito metodológico de la investigación es el de analizar el comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja, mediante la obtención de las cargas térmicas donde se evaluarán diferentes estrategias de control térmico con el propósito de generar recomendaciones para el diseño de esta tipología vivienda. Como resultado se encontró que los sistemas tradicionales de construcción de la vivienda VIS no responde al confort térmico requerido. Al aplicar una tecnología limpia como por ejemplo los bloques de BTC en la fachada, presenta unas mejoras en el comportamiento térmico en sus valores U de un 30%. Para concluir, se identifica que, en la ciudad de Tunja, en las actuales condiciones no es posible cumplir con el confort térmico requerido por la norma nacional utilizando los sistemas constructivos tradicionales. Por tal razón, es necesario implementar materiales con tecnologías limpias, ya que mejora el aislamiento térmico de las envolventes en su parte de las áreas opacas en las viviendas VIS y permite que se cumpla con los requerimientos mínimos de habitabilidad.

Palabras clave.

Aislamiento Térmico, Confort Térmico, Materiales de cambio de fase y Paneles de Aislamiento al Vacío, Bloque de tierra comprimida BTC.

THERMAL BEHAVIOR ANALYSIS OF THE SOCIAL HOUSING ENVELOPES IN TUNJA CITY FROM THE APPROACH OF CLEAN TECHNOLOGIES.

Abstract.

In Colombia, the lack of application of knowledge in VIS housing designs can be evidenced, since these designs are standardized and do not take into account the different types of climates existing in the country. Then it is worth asking: What is the optimal thermal behavior for the design of the envelopes of the VIS houses in the city of Tunja that meet the minimum requirements of habitability? The methodological purpose of the research is to analyze the thermal behavior of the envelopes of the VIS houses in the city of Tunja, by obtaining the thermal loads where different thermal control strategies will be evaluated with the purpose of generating recommendations for the design of this housing typology. As a result it was found that the traditional systems of construction of the VIS housing does not respond to the thermal comfort required. By applying a clean technology such as BTC blocks on the façade, it shows improvements in thermal behavior at its U-values of 30%. To conclude, it is identified that in the city of Tunja, under the current conditions it is not possible to comply with the thermal comfort required by the national standard using traditional construction systems. For this reason, it is necessary to implement materials with clean technologies, since it improves the thermal insulation of the envelopes in their part of the opaque areas in the VIS houses and allows compliance with the minimum requirements of habitability.

Key words:

Thermal Insulation, Thermal Comfort, Phase Change Materials and Vacuum Insulation Panels, compressed earth block CEB

Contenido

pág.

Introducción.....	13
1. Marco referencial.....	14
1.1 Estado del arte.....	14
1.1.1 Antecedentes.....	14
1.2 Marco teórico.....	16
1.2.1 Aislamiento Térmico.....	18
1.2.2 Puentes Térmicos.....	23
1.2.3 Materiales de cambio de fase.....	24
1.2.4. Paneles de Aislamiento al Vacío.....	26
1.2.5. Bloques de Tierra Comprimida.....	28
2. Planteamiento del problema.....	29
2.1. Pregunta de Investigación General.....	30
2.1.1. Preguntas de Investigación Específicas.....	30
2.2. Justificación.....	30
2.2.1. Consideraciones éticas.....	31
2.3. Objetivos.....	31
3. Aspectos metodológicos.....	31
3.1 Tipo de investigación.....	31
3.2 Metodología.....	32
3.3 Hipótesis de investigación.....	33

4. Estudio de las condiciones climáticas de la ciudad de Tunja.....	33
4.1. Cartas de confort.	37
4.2 Identificación del comportamiento térmico de la ciudad de Tunja.	41
5. Características de las envolventes de las viviendas sociales en la ciudad de Tunja.	42
5.1. Características tecnológicas de las envolventes de las viviendas sociales en Tunja.	42
5.1.1. Muro en bloque estructural hueco.....	43
5.1.2. Muro en sistema industrializado tipo Túnel.	44
5.1.3. Muro en ladrillo macizo.....	44
5.2. Tipologías propuesta de tecnologías limpias.	46
5.2.1. Bloque de Tierra Comprimida BTC.....	46
5.2.2. Muro en Panel de Aislamiento al Vacío VIP.....	46
5.2.3. Muro Compuesto.....	47
5.3. Comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas sociales de la ciudad de Tunja... 48	
6. Simulación del comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas vis en la ciudad de Tunja con un enfoque de tecnologías limpias.	48
6.1 Definición de variables de simulación.	48
6.2. Escenarios de simulación.....	49
6.2.1.1 Mes más frio julio.	50
6.2.1.2 Día más frio 6 de julio.	51
6.2.1.3 Mes más caluroso marzo.	52
6.2.1.4 Día más caluroso 25 marzo.....	52
6.2.2 Sistema túnel con fachaleta.....	53
6.2.2.1 Mes más frio julio.	53
6.2.2.2. Día más frio 6 julio.	54

6.2.2.3 Mes más caluroso marzo.	55
6.2.2.4 Día más caluroso 17 marzo.	55
6.2.3 Muro ladrillo macizo.	56
6.2.3.1 Mes más frio julio.	56
6.2.3.2 Día más frio 6 julio.	57
6.2.3.3 Mes más caluroso marzo.	58
6.2.3.4 Día mas caluroso 17 marzo.	58
6.2.4 Bloque de tierra comprimida BTC.	59
6.2.4.1 Mes más frio julio.	60
6.2.4.2 Día más frio 6 julio.	60
6.2.4.3 Mes más caluroso marzo.	61
6.2.4.4 Día más caluroso 17 marzo.	62
6.2.5 Panel de aislamiento al vacío VIP.	62
6.2.5.1 Mes más frio julio.	63
6.2.5.2 Día más frio 6 julio.	64
6.2.5.3 Mes más caluroso marzo.	65
6.2.5.4 Día más caluroso 17 marzo.	65
6.2.6 Muro compuesto.	66
6.2.6.1 Mes más frio julio.	67
6.2.6.2 Día más frio 6 julio.	67
6.2.6.3 Mes más caluroso marzo.	68
6.2.6.4 Día más caluroso 17 marzo.	69
6.3 Análisis de resultados.	69
6.3.1 Resultados de las propiedades de transmitancia térmica.	69
6.3.2 Resultados de confort térmico en el más frio y día más caluroso.	70



6.3.3 Resultados comparativos de ventajas y desventajas de las envolventes aplicada a vivienda VIS.....	71
6.3.4. Resultados comparativos de costos de las envolventes.	72
6.3.5 Resultados del estudio de norma.	73
6.3.6 Resultados del análisis cualitativo de las dimensiones de sostenibilidad.....	74
7. Síntesis de resultados respecto a las dimensiones del Diseño Sostenible.	74
7.1 Análisis de los resultados respecto al Diseño Habitable.....	75
7.2 Análisis de los resultados respecto a la dimensión del Diseño Eficiencia.	75
7.3 Análisis de los resultados respecto a la dimensión del Diseño Equitativo.	76
Recomendaciones.	77
Conclusiones.	78
Referencias	79

Tabla de Figuras

	Pág.
Figura 1. Datos climáticos de Temperatura promedios ultimas 3 décadas en Tunja.	39
Figura 2. Datos climáticos de Precipitación promedios ultimas 3 décadas en Tunja.	39
Figura 3. Carta Psicométrica para Tunja.	41
Figura 4. Sección muro bloque estructural.	43
Figura 5. Sección muro hormigón + fachaleta.	44
Figura 6. Sección muro ladrillo macizo.	45
Figura 7. Sección muro bloque de tierra comprimida.	46
Figura 8. Sección muro panel de aislamiento al vacío.	47
Figura 9. Sección muro compuesto, bloque de arcilla + aislamiento.	48
Figura 10. Modelo de simulación muro bloque estructural.	49
Figura 11. Resultados simulación mes más frio. Muro bloque estructural.	50
Figura 12. Resultados simulación día más frio. Muro bloque estructural.	51
Figura 13. Resultados de simulación mes caluroso. Muro bloque estructural.	52
Figura 14. Resultados simulación día más caluroso. Muro bloque estructural.	52
Figura 15. Modelo de simulación sistema túnel + fachaleta.	53
Figura 16. Resultados de simulación mes más frio. Muro sistema túnel + fachaleta.	53
Figura 17. Resultados simulación día más frio. Muro sistema túnel + fachaleta.	54
Figura 18. Resultados simulación día más frio. Muro sistema túnel + fachaleta.	55
Figura 19. Resultados simulación mes más caluroso. Muro sistema túnel + fachaleta.	55
Figura 20. Modelo de simulación. Muro ladrillo macizo.	56
Figura 21. Resultados simulación mes as frio. Muro ladrillo macizo.	56
Figura 22. Resultados simulación día más frio. Muro ladrillo macizo.	57

Figura 23. Resultados simulación mes más caluroso. Muro ladrillo macizo.	58
Figura 24. Resultados simulación día más caluroso. Muro ladrillo macizo.....	58
Figura 25. Modelo de simulación muro bloque de tierra comprimida.....	59
Figura 26. Resultados de simulación mes más frio. Muro bloque de tierra comprimida.....	60
Figura 27. Resultados simulación día más frio. Muro bloque de tierra comprimida.	60
Figura 28. Resultados simulación mes más caluroso. Muro bloque de tierra comprimida.....	61
Figura 29. Resultados simulación día más caluroso. Muro bloque de tierra comprimida.	62
Figura 30. Modelo de simulación muro panel de aislamiento al vacío.....	62
Figura 31. Resultados simulación mes más frio. Muro panel de aislamiento al vacío.	63
Figura 32. Resultados simulación días más frio. Muro panel de aislamiento al vacío.	64
Figura 33. Resultados simulación mes más caluroso. Muro panel de aislamiento al vacío.....	65
Figura 34. Resultados simulación día más caluroso. Muro panel de aislamiento al vacío.	65
Figura 35. Modelo de simulación muro compuesto bloque de arcilla + aislamiento.....	66
Figura 36. Resultados simulación mes más frio. Muro compuesto bloques de arcilla + aislamiento.....	67
Figura 37. Resultados simulación día as frio. Muro compuesto bloques de arcilla + aislamiento.	67
Figura 38. Resultados simulación mes más caluroso. Muro compuesto bloques de arcilla + aislamiento.....	68
Figura 39. Resultados simulación día más caluroso. Muro compuesto bloques de arcilla + aislamiento.....	69
Figura 40. Análisis de resultados diseño habitable, eficiente y equitativo.....	74
Figura 41. Análisis de resultados diseño habitable.	75
Figura 42. Análisis de resultados diseño eficiente.	76
Figura 43. Análisis de resultados diseño equitativo.	77

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Desarrollo Normativo de la VIS en Colombia.	14
Tabla 2. Bloque de Tierra Comprimida características.	29
Tabla 3. Faces metodológicas de la investigación.	33
Tabla 4. Climograma de Temperatura Vs Humedad Relativa periodo 1988-1998.	34
Tabla 5. Climograma de Temperatura Vs Humedad Relativa periodo 1998-2008.	35
Tabla 6. Climograma de Temperatura Vs Humedad Relativa periodo 2008-2018.	36
Tabla 7. Climograma de Velocidad de viento periodo 2018.	37
Tabla 8. Clasificación climática Köppen para Tunja.	38
Tabla 9. Datos Generales de clima en Tunja.	38
Tabla 10. Datos Generales de Ubicación de Tunja.	38
Tabla 11. Datos climáticos de promedios ultimas 3 décadas en Tunja.	39
Tabla 12. Datos climáticos de Temperatura máx., min y Humedad relativa máx., min promedios ultimas 3 décadas en Tunja.	40
Tabla 13. Estrategia bioclimática para Tunja.	41
Tabla 14. Comportamiento del clima en Tunja.	41
Tabla 15. Tipologías de Viviendas VIS en Tunja.	42
Tabla 16. Tipología de muro bloque estructural.	43
Tabla 17. Tipología muro hormigón + fachaleta.	44
Tabla 18. Tipología muro ladrillo macizo.	45
Tabla 19. Tipología muro bloque de tierra comprimida.	46
Tabla 20. Tipología muro panel de aislamiento al vacío.	47
Tabla 21. Tipología muro compuesto, bloque de arcilla + aislamiento.	47



Tabla 22. Análisis propiedades de transmitancia térmica.	70
Tabla 23. Análisis comparativo del comportamiento térmico día frío y día caluroso.	71
Tabla 24. Análisis comparativo de ventajas y desventajas.	72
Tabla 25. Análisis comparativo de costo.....	73
Tabla 26. Análisis comparativo estudio normas.	73
Tabla 27. Análisis comparativo dimensiones de sostenibilidad.....	74

Introducción.

Desde que se firmó el protocolo de Kioto en diciembre de 1997, la mayoría de los gobiernos de todo el mundo se han comprometido a reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, según Yilmaz, (2007), el uso eficiente de la energía y la sostenibilidad se ha convertido en un tema clave para la mayoría de las políticas energéticas. Los términos de sostenibilidad y ahorro de energía también tienen lugar en la industria de la construcción de edificios, ya que los edificios son uno de los consumidores de energía más importantes y contaminantes para nuestro medio ambiente. Se sabe que la demanda de energía de calefacción y de refrigeración de un edificio tiene una gran tasa en el consumo total de energía del edificio. Además, la mayor parte de la energía de calefacción se ha perdido en la envolvente del edificio, se tiene como objetivo reducir la pérdida de calor en los edificios a través de la envolvente.

La metodología de investigación parte del análisis bibliográfico para establecer variables de estudio, relacionadas con la pregunta de investigación: confort térmico, eficiencia energética, vivienda de interés social, envolvente y tecnologías limpias. Seleccionar fuentes primarias para la construcción de un marco teórico que permita dar respuesta a esta pregunta de investigación. Se realizó análisis climático de la ciudad de Tunja en un periodo de 30 años, se observa que el comportamiento de la temperatura promedio ha subido paulatinamente 1°C en estas últimas 3 décadas. La humedad relativa se encuentra en promedio de 75% la cual hace que tenga una variabilidad en el comportamiento climático, de igual manera se analizó las diferentes tipologías arquitectónicas de construcción y se determinó su comportamiento desde el punto de vista del comportamiento térmico. La selección de materiales de tecnología limpia se realizó de acuerdo con tecnologías locales e internacionales para validar cual es la más adecuada para la ciudad de Tunja. Para la validación de las hipótesis se utilizó la herramienta de simulación mediante el software Desing Builder, donde se establecen unos rangos para el confort térmico óptimo.

1. Marco referencial.

A continuación, se explica los elementos del marco referencial. En primer lugar se presenta un resumen síntesis del estado del arte realizado. Luego, se explica brevemente el planteamiento del problema y finalmente se hablara de los aspectos metodológicos de las investigación.

1.1 Estado del arte.

1.1.1 Antecedentes.

Esta investigación tuvo como propósito el análisis del aislamiento térmico las envolventes en sus áreas opacas de la vivienda VIS en la ciudad de Tunja. Por tal razón se analizó los diferentes elementos de construcción, de materiales y de diseño con referencia al piso térmico de la ciudad de Tunja, que contempla las envolventes en la edificación, como son la cimentación, fachadas (áreas opacas y acristaladas), y cubierta para hacer una evaluación de su eficiencia energética y comportamiento térmico en estas viviendas de este tipo; si realmente se está cumpliendo o no y de qué manera se puede mejorar el confort térmico de las personas que las habitan. Cave a notar que en esta investigación por la complejidad del análisis solo se tuvo en cuenta el análisis de la fachada (áreas opacas).

Un análisis de la normativa sobre la vivienda social en Colombia a través del tiempo, se resume en la siguiente tabla. 1

DESARROLLO NORMATIVO DE LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL EN COLOMBIA		
Periodo higienista		
1918-1942	Primeras leyes y entidades	viviendas en estados de salubridad óptimo e higiénicamente habitables
Periodo Fase institucional		
1942-1965	Proyectos masivos de vivienda	
	Banco Central Hipotecario	Vivienda para familias campesinas, Empleados solventes, Familias urbanas con bajos recursos
	Ley 87 de 1947	caja de vivienda militar
	Decreto 2241 de 1948	vivienda campesina
	Decreto 1132 de 1953	Funciones de BCH
	Decreto 371 de 1953	Código sanitario nacional
	Decreto 2349 de 1965	Banco de ahorro y vivienda
Periodo de formación de la banca de ahorro y vivienda		
1965 - 1972	Decreto 3118 de 1968	Fondo Nacional del Ahorro
	Decreto 677 de 1972	Corporaciones de ahorro privado
Periodo Corporativo, corporaciones financieras y empresas urbanizadoras		
1972 - 1990	Desarrollo de la construcción Ley 20 1976	Vivienda rural
	Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional
	Ley 9 de 1989	Reforma Urbana
Periodo a la demanda de construcción		
1991 - 2003	Ley 3 1991	Sistema nacional de vivienda de interés social
	Ley 546 de 1999	Unidad de Valor Real UVR
	Decreto 1127 de 2002	Creación INURVE
	Decreto 554 de 2003	Supresión del INURBE
Periodo		
2003 - 2009	Creación Fondo Nacional de Vivienda	Fonvivienda
Periodo		
2010 - 2014	Plan de Desarrollo Prosperidad para todos	Incremento de la construcción de vivienda VIS y VIP

Tabla 1. Desarrollo Normativo de la VIS en Colombia.

El significado de vivienda de interés social en Colombia, es aquel que se fundamenta en recursos públicos y se concede a la población más sensible o que tenga recursos económicos más bajos, con el propósito de garantizar una vivienda digna a los sectores más marginados. De acuerdo con las directrices de las políticas que existen actualmente en nuestro país, realizar un análisis de eficiencia energética y confort térmico si estas se están cumpliendo de alguna manera o hasta qué grado se aplican en los proyectos en la ciudad de Tunja.

Un buen ejemplo de política Nacional Sostenible es el CONPES 3919, para la sostenibilidad en la construcción, a nivel de normas tenemos la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el cual es una guía para el ahorro de agua y energía. Otro avance significativo es la NTC 6112 de 2016 Sello Ambiental Colombiano del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible donde se establecen los criterios ambientales para el diseño y construcción en las edificaciones, con uso distinto a vivienda. No obstante, estas no se consideran como criterios de sostenibilidad en las edificaciones para nuestro país.

En los procesos de diseño de una edificación desde su comportamiento térmico y de eficiencia energética, debe ser parte primordial del diseño en sus diferentes escenarios como el diseño arquitectónico, diseño estructural, diseño ambiental entre otros. Puesto que un apropiado diseño, que incluya en forma integral los elementos constituyentes, como orientación de la edificación, ambientes de uso y materiales, permiten de alguna forma aumentar las cargas térmicas por radiación solar y la disminución de consumo energético dentro de la edificación.

La gran mayoría de la vivienda social en Latinoamérica y por decir en el mundo no está cumpliendo con los requerimientos de eficiencia energética, confort térmico e implementación de nuevas tecnologías, las viviendas no están diseñadas bajo parámetros y criterios de sostenibilidad, un alto porcentaje de las viviendas tienen menos de 50 m² y con gran número de ocupantes, los materiales de sus envolventes (pisos, muros, ventanas y cubierta) presentan baja inercia térmica produciendo una mala calidad de vida de sus habitantes.

Según la arquitecta Liliana Melgarejo y el arquitecto Helmuth Ramos Colonge el confort térmico es la sensación de bienestar en lo que se refiere a temperatura, equilibrio entre el calor que produce el cuerpo y su disipación en el ambiente, también está sujeto a la edad, sexo, y cultura. Varios autores coinciden en que los residentes urbanos de cualquier edad pasan más del 90% de sus actividades en ambientes interiores, esto lleva a concluir que su salud física mental y emocional, en parte, depende de las condiciones de este medio, por ello se hace necesario seguir desarrollando investigaciones sobre el confort en sus distintas dimensiones.

De acuerdo con el Concejo Colombiano de Construcción Sostenible CCCS (2018), explica que en el desarrollo de vivienda de interés social no se tienen en cuenta los diferentes factores que integra los diseños para una vivienda digna, las cuales se entregan en condiciones muy básicas, sin ningún acabado y en muchas ocasiones no se cumple su diseño inicial por falta de recursos de los propietarios, esto conlleva a que la vivienda sea más deficiente en habitabilidad. Un concepto de vivienda que está obteniendo gran importancia es la Passivhaus, la idea de “casa pasiva” surgió en Alemania en los años 90 y pretende combinar el concepto de vivienda acogedora y

completamente respetuosa con el medio ambiente. De hecho, se define una “casa pasiva” como una vivienda ecológica que por las características de su construcción aprovecha de forma óptima los recursos naturales y reduce sustancialmente el consumo energético y su huella ambiental.

Otra herramienta que se puede aprovechar para la eficiencia energética de las viviendas VIS es la utilización de estrategias bioclimáticas para controlar la temperatura interior de las edificaciones, concepto que envuelve elementos importantes como son: el clima, la arquitectura y las personas que van habitar estos espacios. Algunas estrategias bioclimáticas para nuestro caso en particular de la ciudad de Tunja, tenemos para el aprovechamiento pasivo de energía para el clima frío se fundamenta en tres cimientos, aprovechamiento de energía, su acumulación y su distribución, corresponde a una mejora en el confort térmico para los habitantes de estas edificaciones. Estas estrategias bioclimáticas brindan una herramienta para desarrollar arquitectura que se relacione de manera adecuada con el entorno mejorando altamente la habitabilidad de los edificios con la eficiencia energética y técnicas de construcción deseada mitigando los impactos negativos que se generan en el medio ambiente a causa de estas construcciones.

Existen diferentes fuentes de energía renovable como: el viento energía eólica, el agua de la que proceden las energías hidroeléctrica, mareal y geotérmica (agua calentada por rocas subterráneas calientes); y el sol, que alimenta las células fotovoltaicas y las centrales de energía solar. Para garantizar las fuentes de energía, sólo tomamos en cuenta las técnicas cuyas emisiones de gases de invernadero y contaminantes atmosféricos son casi nulas durante todo su ciclo vida (Energía sostenible objetivo 2030, 2010). Para nuestro objetivo principal se hace necesario de manera preponderante la incorporación de las Tecnologías Limpias para garantizar la disminución del deterioro ambiental, también de comenzar a restablecer los daños causados al planeta, puesto que la industria de la construcción es uno de los factores que más está contaminado.

En materia de eficiencia energética las envolventes arquitectónicas constituyen un papel fundamental, ya que varios autores coinciden que la envolvente es la piel del edificio, en este caso particular de investigación se trata de las fachadas áreas opacas. Este es un componente que permiten la integración de diversos aspectos, los cuales ayudan a proteger del clima y funcionan como acabado, por consiguiente, respecto del consumo energético representan un gran beneficio para reducir las pérdidas de energía de acuerdo con los materiales que se están utilizando en la construcción de estas edificaciones.

1.2 Marco teórico.

A manera de introducción para el marco teórico se analizaron unos autores que nos describen sus trabajos en referencia de la sostenibilidad de los edificios, se observa una preocupación por la investigación del comportamiento térmico de las área opacas, día a día ir optimizando los procesos de industrialización con los nuevos sistemas y tecnologías que generen el menor impacto y huella ambiental que se genera por parte de la construcción, en relación a este tema los autores Halawa et al., (2018), se abre la discusión sobre las amenazas ambientales emergentes derivadas de la rápida urbanización y la escasez de energía asociada, los impactos negativos del cambio climático y los síndromes de edificios enfermos han llevado a los sectores gubernamentales y varios organismos profesionales basados en la construcción a reconocer la

necesidad de desarrollar estrategias efectivas de diseño de edificios sostenibles. Como resultado, se ha observado un interés creciente en el desarrollo de soluciones efectivas para mejorar el rendimiento energético sostenible de los edificios en los últimos años. En esta línea, las envolventes de edificios que separan los ambientes interiores de los exteriores, y en particular las fachadas desempeñan un papel importante para el ahorro de energía en los edificios. Sin embargo, este estudio sostiene que no existe un análisis sistemático y completo de la literatura disponible sobre el rendimiento energético y térmico de las fachadas de edificios en función de las diversas configuraciones técnicas y de diseño posibles.

En 2015, La Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma de China dio a conocer su "Reporte de sobre la política y acción ante el cambio climático 2015" (INDC) a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en preparación para la Conferencia de Paris 21. Entonces resulta que los autores (Xing, Hanaoka, Kanamori, & Masui, 2017), realizan un análisis profundo y dando como resultado las iniciativas para INDC de China, varias acciones como son las reducciones en las emisiones de carbono hacia 2030, y una de las acciones más importantes para el año 2030 en la INDC de China son reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por unidad de PIB en un 60% a 65% con respecto al nivel de 2005. Este estudio, están como temas relevantes, el sector de servicios en relación a las emisiones de CO₂ de seis subsectores: edificios de oficinas, tiendas, hoteles, restaurantes, educación, atención médica y otros.

Para lograr objetivos de rendimiento energético net Zero en los edificios, los diseñadores deben hacer un uso óptimo de las estrategias de diseño ambiental pasivo, para obtener la eficiencia energética y el confort en sus diferentes niveles. Este argumento corresponde muy bien en relación a lo dispuesto por los autores (Konis, Gamas, & Kensek, 2016), los cuales buscan como objetivo de investigación es demostrar la aplicación de un nuevo Marco Pasivo de optimización del Desempeño (PPOF) para mejorar el desempeño de las estrategias de iluminación natural, control solar y ventilación natural en las primeras etapas de diseño de proyectos arquitectónicos. Por otra parte, pero continuando con este concepto de la implementación diseño pasivo los siguientes autores (Kim, Cox, Cho, & Yoon, 2018), manifiestan que las tecnologías avanzadas de control pasivo atraen una gran atención por parte de arquitectos e ingenieros como una forma de lograr edificios de alta calidad ambiental interior, de eficiencia energética y que su impacto sea mínimo.

A este propósito los autores Gou, Nik, Scartezzini, Zhao, & Li, (2018), tratan como objetivo principal de su investigación, la cual es optimizar el diseño pasivo de los edificios residenciales de nueva construcción, en las estaciones de verano y de invierno en China, para mejorar el confort térmico interior y reducir la demanda de energía en los edificios. En este sentido, este documento investigación del rendimiento de un edificio de apartamentos representativo en la ciudad de Shanghái y evalúa las soluciones óptimas utilizando un enfoque de optimización desarrollado, que incluye tres pasos principales de 1) establecer el modelo para la optimización de objetivos múltiples, 2) análisis de sensibilidad para reducir la dimensión de las variables de entrada, y 3) optimización multiobjetivo mediante el uso del algoritmo genético de clasificación denominado II (NSGA-II), junto con la red neuronal artificial (ANN), entre las que se encuentra un nuevo indicador para la evaluación del confort térmico anual en interiores de los edificios

residenciales de Shanghái denominado Relación de tiempo de confort (CTR). Los resultados de la optimización de objetivos múltiples indican que los edificios residenciales de Shanghái tienen un gran potencial para mejorar el confort y ahorrar energía. En consecuencia, se derivan una serie de nuevas tácticas óptimas de diseño pasivo para edificios residenciales en Shanghái, que los arquitectos pueden entender fácilmente y llevar a cabo de manera conveniente en la práctica.

Para los autores Gossard, Lartigue, & Thellier, (2013), el propósito de su investigación es presentar un método para optimizar las propiedades termo físicas equivalentes de los muros externos (muro de conductividad térmica y calor específico volumétrico), el muro de una vivienda para mejorar su eficiencia térmica. Para reducir los requisitos computacionales, hemos adoptado una metodología que combina una red neuronal artificial y el algoritmo genético NSGA-II. Esta técnica de optimización se ha aplicado a una vivienda para dos climas franceses, Nancy (continental) y Niza (Mediterráneo). Optando por caracterizar el rendimiento energético de la vivienda con dos criterios, que son los objetivos de optimización: el consumo de energía anual QTOT y el grado de confort de verano de Isum.

Ahora, se desarrollara la descripción de los autores consultados en la revisión bibliográfica, respecto a los siguientes conceptos de investigación: Aislamiento Térmico, Confort Térmico, Materiales de cambio de fase, Paneles de Aislamiento Al Vacío y Bloque de tierra comprimida BTC.

1.2.1 Aislamiento Térmico.

A continuación, se analizarán unos documentos de investigación científica donde se encuentra que el aislamiento térmico como concepto y en su materialidad es muy importante a nivel mundial en cuanto el ahorro de energía y eficiencia.

Uno de los primeros documentos en consideración pretende discutir la adaptación de un proyecto de vivienda social brasileña al estándar de la Casa Pasiva, mediante la definición del tejido de construcción de envolvente térmico para diferentes climas del sur de Brasil, a partir de una línea base de acuerdo con el estándar de desempeño brasileño. El estudio se desarrolló en 4 pasos, donde se configuró un modelo numérico y se ejecutó en un régimen transitorio, utilizando el software EnergyPlus. En el primer paso, se evaluó el rendimiento térmico y energético del modelo base de referencia. En el segundo paso, se realizó un análisis de sensibilidad, variando los parámetros de envolvente térmico del estudio de caso del edificio, con el fin de satisfacer el rendimiento mínimo del nivel de clasificación, de acuerdo con el Reglamento Brasileño de Eficiencia Energética (RTQ-R). En un tercer paso, se optimizó la envolvente externa del edificio, a través de un algoritmo evolutivo multiobjetivo. En un último paso, se optimizó el modelo numérico definido de acuerdo con el estándar de la Casa Pasiva, para obtener soluciones óptimas. Los autores del tema anteriormente expuesto fueron (Dalbem et al., 2019). Con este tipo de estudios, análisis y de más se observa que alrededor del mundo, se realizan este tipo de investigaciones, con el fin de mejorar la habitabilidad y su entorno, evitando cada vez más las contaminaciones emitidas por el sector de la construcción.

Según autores como Abdul Hamid & Wallentén (2017) explican que la renovación adecuada y eficiente requiere entender el comportamiento de los edificios existentes y de los diferentes materiales de construcción. En este sentido los autores, exponen que el análisis de mediciones higrotérmicas permite identificar factores de importancia crítica para una evaluación adicional a través de simulaciones, y validar un modelo de simulación higrotérmica de un muro de mampostería de ladrillo sólido. Finalmente concluyen los autores que utilizar modelos, es apropiado para evaluar internamente sistemas de aislamiento térmico de diferentes tipos.

También es cierto que para Al-Sanea, Zedan, & Al-Hussain (2016) autores que observan que la determinación de valores R óptimos para la construcción de muros, en diferentes condiciones climáticas es muy importante porque las diferentes capas que componen el muro, proporcionan el rendimiento para llegar al confort térmico. El poliestireno moldeado, el tablero de poliuretano y la lana de roca se utilizan como materiales de aislamiento, teniendo presente la optimización de los materiales para la eficiencia energética. Al analizar los rendimientos térmicos y económicos se logra determinar el espesor de aislamiento óptimo. El análisis del confort térmico implica calcular la distribución de la temperatura y su variación con el tiempo en las secciones de pared en condiciones periódicas estables para obtener resultados acertados en relación con la condición climática que se esté estudiado.

Por otra parte estos autores también evalúan los efectos del tipo de material de construcción y la absorción de la superficie a la radiación solar sobre el espesor de masa térmica crítica en paredes de edificios aislados para determinar la resistencia térmica nominal de una pared fija (valor R_n). De esta forma surgen los conceptos de "potencial de ahorro de energía de masa térmica" (D) y "espesor de masa térmica crítica" ($L_{mas, cr}$), se utilizan para determinar el espesor de masa térmica requerido para un porcentaje de ahorro energético. Los efectos de los materiales de construcción se investigan mediante el uso de bloques de concreto sólidos y huecos, donde se evidencia que el grosor de la masa térmica varía entre 20 y 50 cm, manteniendo el valor R_n constante y de esta manera alcanzar el confort térmico de acuerdo al tipo de clima.

Se comprende que el diseño del edificio consciente de la eficiencia energética, radica en observar las características termofísicas de la envolvente del edificio, como en primer lugar, la Transmitancia térmica (valor U), de acuerdo con Aste, Angelotti, & Buzzetti, (2009). Sin embargo, además del valor U, también debe considerarse la inercia térmica de la envolvente en términos de ahorro de energía y confort térmico. El uso de una inercia adecuada, que van desde unos pocos porcentajes a más del 80%, Por lo tanto, el objetivo es evaluar los parámetros que mejoran o amortiguan el papel de la inercia térmica en el desarrollo de los proyectos que aseguren una sostenibilidad. Para este propósito, se investigaron varios sistemas de paredes externas con el mismo valor U pero diferentes propiedades dinámicas para calcular los ahorros de energía alcanzables asociados. Los parámetros de diseño (superficie de transferencia de calor, control solar) y operacionales (tasas de ventilación, régimen funcional HVAC). Estos autores aseguran que el sistema de pared de rendimiento energético más alto tiene una combinación adecuada de la Transmitancia térmica dinámica y los valores de admitancia térmica, aunque no necesariamente sean los mejores.

Para los edificios existentes, el aislamiento térmico interno es a menudo la única técnica aplicable para aislar paredes existentes, en particular para edificios históricos, aunque esta técnica está asociada con diferentes riesgos higrotérmicos, como la condensación interna, el crecimiento de moho o el daño por helada, de lo anterior los autores De Mets, Tilmans, & Loncour, (2017), los muros están internamente compuestos con materiales de aislamiento activo estándar y capilar. Los resultados de las evaluaciones también se utilizan para validar modelos numéricos de los muros, lo que permite estudiar tanto el comportamiento de eficiencia energética y el comportamiento higrotérmico, y de esta manera evitar problemas de condensación y controlar de alguna manera la humedad relativa en el interior del edificio, de igual forma para diferentes composiciones de muros.

A este propósito de los edificios históricos, Odgaard, Bjarløv, & Rode, (2018), los muros exteriores en edificios históricos de varios pisos en comparación con los muros en edificios modernos tienen baja resistencia térmica, lo que resulta en una alta pérdida de energía y superficies pisos fríos en climas fríos. Cuando existen restricciones con respecto a la alteración de la apariencia exterior, el aislamiento interior podría ser la única posibilidad para aumentar la comodidad de los ocupantes. De igual manera para Bjarløv, Finken, & Odgaard, (2015) consideran que donde no se desea una alteración de la fachada exterior, el aislamiento interior puede ser la solución para mejorar el clima interior y reducir la pérdida de calor, pero también puede introducir problemas de humedad como la condensación en la pared. Se ha venido desarrollando e introduciendo materiales aislantes capilares activos, hidrófilos para hacer frente al problema de la humedad, en este tipo de edificios. Se lleva a cabo una gran cantidad de cálculos que indican dónde se encuentran los desafíos en el trabajo, con el aislamiento interior en climas templados fríos, donde se ha logrado el objetivo de reducir las pérdidas de calor y obtener el confort térmico.

Un ejemplo para revisar los diferentes estudios de caso en climas como lo es el tunecino, tanto la calefacción en invierno como la refrigeración en verano se requieren para alcanzar niveles de confort térmico, la eficiencia energética, para Daouas, (2011). Debido al aumento significativo en el consumo de energía del edificio, el aislamiento de las paredes externas se aplica recientemente, con un grosor que suele oscilar entre 4 y 5 cm, independientemente de la estructura y la orientación de las paredes y de los parámetros económicos. De acuerdo con Ferrari, (2007), con el fin de simplificar el procedimiento para evaluar el rendimiento energético de los edificios en invierno y verano, la mayoría de las normas existentes hacen referencia al balance energético del edificio en condiciones de estado estable. De hecho, también la reciente implementación de la Directiva Europea de Desarrollo del Desempeño (EPBD),

Basándonos en el enfoque anterior, el efecto de la masa térmica en la envolvente del edificio se reduce drásticamente incluso si, de hecho, el proceso real de transferencia de calor en la construcción de edificios no depende en gran medida de la capacidad térmica del material. Sin embargo, la literatura científica bien establecida Olgyay (1963), Givoni (1967), Szokolay (1980), ASHRAE (2001), así como las soluciones arquitectónicas tradicionales, respaldan la importancia de la capacidad térmica también en condiciones tanto de verano como de invierno, lo que no se considera en las prácticas de construcción comunes. Kameni Nematchoua, Ricciardi, Reiter, &

Yvon, (2017), para los autores anteriormente enunciados, el aumento de la temperatura exterior actúa directamente sobre el clima interior de los edificios. En Camerún, la demanda de consumo de energía en el sector de los edificios ha aumentado rápidamente en los últimos años; también que el suministro de energía no siempre satisface la demanda de las edificaciones.

Por otra parte las nuevas tecnologías de aislamiento térmico puede ser uno de los métodos principales para reducir el consumo de energía en estos nuevos edificios. Sin embargo, la elección del grosor del material de aislamiento a menudo provoca altos costos económicos de aislamiento. El modelo económico, incluido el costo del material de aislamiento y el valor presente del consumo de energía y el costo durante un período de vida de 22 años del edificio, estos mecanismos se utilizaron para encontrar el espesor óptimo del aislamiento, el ahorro de energía y el período de recuperación. Los materiales que extruyeron el poliestireno se eligieron y se usaron para dos estructuras de muros típicos (bloque de hormigón (HCB) y pared de bloque de tierra estabilizada comprimida (CSEB)). Aunque la orientación de la muro tuvo un efecto significativo en el espesor de aislamiento óptimo, tuvo un efecto más significativo en el ahorro de energía.

Continuando con el análisis del Aislamiento térmico para los autores Zhou, Zhang, Lin, & Li, (2008), el acoplamiento de la masa térmica y la ventilación natural es importante para el diseño de edificios pasivos. La masa térmica se puede clasificar como masa térmica externa y masa térmica interna. Gracias a la oscilación tan alta diurna de la temperatura del aire ambiente y la intensidad de la radiación solar, la transferencia de calor a través de las envolventes de edificios, que se denomina masa térmica externa, es un proceso complejo e inestable. Los muebles de interior son masas térmicas internas, que afectan la temperatura del aire interior a través del proceso de absorción y liberación de calor latente, por consiguiente debemos tener en cuenta los diferentes tipos de materiales, puesto que ayudan a mejorar o a disminuir el confort térmico.

Desarrollar un buen aislamiento térmico trae algunas ventajas como: : (1) la capacidad de reducir la brecha entre las cargas pico y no pico de la demanda de electricidad; (2) la capacidad de utilizar energía solar de forma continua, almacenando energía solar durante el día y liberándola durante la noche, especialmente para la calefacción de espacios en invierno al reducir la fluctuación de la temperatura diurna, lo que mejora el grado de confort térmico; (3) la capacidad de almacenar el enfriamiento natural por ventilación en la noche en verano y liberarlo para disminuir la temperatura de la habitación durante el día, lo que reduce la carga de enfriamiento del aire acondicionado.

De otro lado, debemos tener muy presente la respuesta del cuerpo humano de manera inteligente a diferentes condiciones climáticas mediante la aclimatación y la adaptación. El diferente comportamiento de confort térmico de la necesidad humana, para las personas en diferentes condiciones climáticas y también para diferentes estaciones del año muestra claramente que la estrategia de diseño, para el edificio debe cumplir con la localidad del edificio. Se puede utilizar un sistema inteligente para que se adapte con el confort térmico en relación a nuestro cuerpo de acuerdo con el tipo de clima. De los anterior según Zain, Taib, & Baki, (2007), es necesario tener

presente en el diseño de la envolvente tanto externa como interna la percepción del ser humano, para logra el confort térmico deseado.

Las consideraciones de los respectivos autores, Verbeke & Audenaert, (2018), un edificio con una gran cantidad de masa térmica puede desplazar en el tiempo y aplanar las fluctuaciones de calor; Esto se conoce como la inercia térmica de un edificio. Estos análisis se centran en los impactos reportados de la inercia térmica del edificio sobre el confort térmico y el uso de energía para calefacción y refrigeración de espacios. Como tendencia general, se puede concluir que para la mayoría de los edificios y climas, mayores cantidades de masa térmica en el lado interior del aislamiento térmico parecen ser beneficiosas con respecto a mejorar el confort térmico y reducir la demanda de energía. Con un orden de magnitud de un pequeño porcentaje para la mayoría de los casos, otros parámetros de diseño, como el aislamiento térmico de la envolvente del edificio y las ganancias de calor solar, serán más significativos.

Se hace necesario identificar las medidas de aislamiento que conserven el comportamiento dinámico de masas térmicas, en relación a esto los autores Stazi, Bonfigli, Tomassoni, Di Perna, & Munafò, (2015), analizan que el efecto de las técnicas de alto aislamiento térmico y alta masa térmica en el comportamiento dinámico de los edificios en climas mediterráneos. Las dos técnicas pueden llevar a requisitos contradictorios cuando se consideran las condiciones de invierno y verano, o incluso altos rangos de temperatura diaria. Por lo tanto, la mejor solución para el verano puede ser la peor solución para el invierno.

Siguiendo con el concepto de tener en cuenta la ocupación del edificio a la hora de evaluar el rendimiento térmico, lo autores, Reilly & Kinnane, (2017), presentan nuevas métricas para medir el efecto de la masa térmica en la energía requerida para calentar y enfriar edificios. Los estudios anteriores han sido defectuosos, ya que no han considerado la interacción entre la ocupación intermitente y la masa térmica, lo que tiene un impacto significativo en el uso de energía en general. Sin embargo, los parámetros existentes no capturan adecuadamente estos efectos, por lo que las nuevas métricas desarrolladas, se utilizan para analizar el impacto de la masa térmica en climas cálidos con enfriamiento activo y climas fríos con calentamiento activo. En climas fríos, los inconvenientes de la alta masa térmica probablemente superan las ventajas, y la alta masa térmica puede causar un aumento en el uso de energía. Las nuevas métricas (relación de energía transitoria y valor U efectivo) proporcionan un método generalizable para cuantificar estos efectos. Se utilizan más aquí para analizar el rendimiento dinámico de edificios muy aislados y muestran que la alta masa térmica a menudo conduce a un mayor uso de energía en climas fríos.

No es de sorprendernos que para Larsen, Filippín, & Lesino, (2009), existe una amplia variedad de análisis térmicos que se pueden utilizar para caracterizar el comportamiento térmico de una pared en ciertas condiciones exteriores. La selección de una configuración de muro particular para un proyecto de construcción involucra no solo el clima exterior, sino también las características de todo el edificio, la orientación, el porcentaje de áreas acristaladas, los períodos de ocupación, los estilos de vida, etc. Se analiza dos tipos de paredes en particular, una pared de ladrillos maciza y una pared de ladrillos aislada, para comparar la información proporcionada por cada método y evaluar cómo estos métodos pueden ayudar en la selección de un determinado

tipo de pared. Se determinó que el muro con mejor rendimiento energético y de confort térmico fue el muro que se instaló el aislamiento, se evidencia que los muros de una sola capa no satisfacen las demandas de hoy, en el campo de la sostenibilidad.

Esta investigación se centra en el estudio experimental y numérico de un edificio prototipo para estudiar su comportamiento térmico y para comparar su rendimiento energético con los de un hogar clásico en Argelia, los autores de la investigación Derradji, Imessad, Amara, & Boudali Errebai, (2017). Los resultados de la simulación térmica mostraron que la inercia asociada con un buen aislamiento térmico desempeña un papel importante en la mejora del confort térmico y puede alcanzar hasta un 70% de ahorro de energía en calefacción y aire acondicionado. Los resultados del enfriamiento muestran que el espesor de aislamiento óptimo del poliestireno expandido varía entre 1 cm y 2,5 cm, el ahorro de energía varía entre 0.5 y 1.5 \$ / m², dependiendo del tipo y el porcentaje de la ventana en la pared.

De acuerdo con la creciente atención mundial a la energía y el desempeño ambiental del sector de la construcción, la demanda de energía de los edificios debe minimizarse considerando todos los usos de la energía. En este sentido, los autores Ascione, Bianco, De Masi, Mauro, & Vanoli, (2015), se debe desarrollar componentes de construcción caracterizados por valores adecuados de transmisión térmica, capacidad térmica y propiedades radiativas es una estrategia clave para reducir la necesidad de energía. Sin embargo, el diseño de las características térmicas de la envolvente del edificio es una tarea ardua, especialmente en climas templados donde las demandas de energía para calefacción y refrigeración de espacios están equilibradas. Este estudio presenta una metodología novedosa para optimizar las propiedades termofísicas de la envolvente del edificio y sus recubrimientos, en términos de resistencia térmica, capacidad y características radiativas de las superficies expuestas. Se adopta un enfoque de multiobjetivo para optimizar el rendimiento energético y el confort térmico. El problema de optimización se resuelve mediante un algoritmo genético implementado en MATLAB, que se acopla con EnergyPlus para realizar simulaciones de energía dinámica.

1.2.2 Puentes Térmicos.

Según Tadeu, Simões, Simões, & Prata, (2011), las pérdidas de calor a través de puentes térmicos a menudo conducen a patologías de construcción generadas por la condensación de la humedad. Por lo tanto, los puentes térmicos deben considerarse en la fase de diseño del edificio para evitar tanto la pérdida de calor como la aparición de estas patologías más adelante. El puente térmico lineal a menudo se tiene en cuenta en la etapa de diseño utilizando un coeficiente predefinido. Este factor se enumera en varios reglamentos / normas nacionales para varios tipos de puentes térmicos lineales en el supuesto de una condición de estado estable. Se ha dicho que, el método del muro térmico equivalente se ha empleado para modelar la respuesta transitoria de puentes térmicos de alta inercia. Se presenta una nueva estrategia para ajustar las propiedades térmicas de la muro equivalente de tres capas, que tiene en cuenta la distribución de la

temperatura a través del puente térmico en un escenario de conducción de calor en estado estable, esto ha sido un análisis de Aguilar, Solano, & Vicente, (2014).

1.2.3 Materiales de cambio de fase.

Podemos observar que los materiales de cambio de fase (PCM) ofrecen un medio para almacenar energía térmica cuando está disponible de manera eficiente y devolverla cuando sea necesario. De acuerdo a los autores Walsh, Murray, & O'Sullivan, (2013). Los sistemas de refrigeración por evaporación se consideran eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Este análisis estudia la aplicación de PCM a un sistema de enfriamiento por evaporación industrial para permitir la captura y el almacenamiento de la refrigeración gratuita durante la noche, como un medio para reducir los costos de energía y mejorar la gestión del lado de la demanda. El enfriamiento almacenado se utiliza posteriormente en el sistema de agua de refrigeración durante una demanda máxima durante el día para alcanzar la capacidad de enfriamiento requerida a la temperatura requerida, lo que resulta en una reducción de los requisitos de refrigeración durante el día.

La energía de los recursos renovables es una preocupación importante en la actualidad y está siendo abordada por investigadores de todo el mundo para superar la crisis energética. Otro concepto que se suma a las investigaciones de materiales de cambio de fase, son la de Umair, Zhang, Iqbal, Zhang, & Tang, (2019). Los materiales orgánicos de cambio de fase se utilizan ampliamente en los sistemas de almacenamiento de energía térmica para integrar y administrar la energía renovable. Sin embargo, la tendencia de los materiales de cambio de fase orgánicos a filtrarse durante el proceso de transición de fase, limita sus aplicaciones prácticas en el almacenamiento de energía térmica. La estabilización de la forma es una estrategia efectiva para prevenir las fugas y mejorar la capacidad de almacenamiento de energía de los materiales orgánicos de cambio de fase. La estabilidad de la forma se puede lograr atrapando los materiales orgánicos de cambio de fase en una envoltura mediante micro encapsulación e integrándolos en la matriz de los materiales de soporte o desarrollando materiales de cambio de fase con el cambio de fase sólido-sólido.

Para Touloupaki & Theodosiou, (2017). La evaluación del rendimiento energético de un edificio como factor de diseño en las primeras etapas de diseño es un procedimiento muy exigente y complejo. En las últimas décadas, se han desarrollado una serie de herramientas y métodos para abordar las preguntas de diseño relacionadas con el rendimiento y eficiencia energética, en su mayoría utilizando algoritmos de optimización multiobjetivo. El modelado paramétrico ofrece un control dinámico sobre la geometría y los componentes de las envolventes, lo que permite al diseñador evaluar múltiples variantes al mismo tiempo. En este documento, se propone una nueva metodología de flujo de trabajo de diseño, que integra algoritmos evolutivos y simulación de energía a través de Grasshopper para Rhinoceros 3d.

Autores como Romero-Pérez, Rodríguez-Muñoz, Alpuche-Cruz, & Martín-Domínguez, (2017), encuentran que los edificios en general, las viviendas y específicamente las viviendas sociales en México, tienen una alta demanda de energía como consecuencia del uso de los sistemas de calefacción y refrigeración; Principalmente debido al mal diseño y al uso de materiales de construcción térmicamente ineficientes. De esta manera se analizar la introducción de otro tipo de materiales que respondan en la optimización del confort térmico y la eficiencia energética. La cámara de desarrollo de vivienda local exigió un análisis del comportamiento térmico y el consumo de energía. Uno de los primeros pasos hacia el logro de este objetivo es completar un diagnóstico de la condición de la vivienda social en la ciudad de Durango en México.

Hasta ahora los autores Johra, Heiselberg, & Le Dréau, (2017), se encuentran con muchos modelos numéricos para la simulación de energía de edificios suponen habitaciones vacías y no tienen en cuenta el contenido interior de los edificios ocupados. Los elementos de mobiliario y los artículos de interior tienen formas complicadas y están hechos de varios materiales, los cuales también poseen propiedades termofísicas de absorción y transmitancia. Sin embargo, esta simplificación puede ser problemática para el cálculo preciso de la temperatura interior transitoria. Si bien el nivel de aislamiento y la masa térmica de la envolvente de un edificio son los parámetros dominantes, parece que el contenido interior no puede descuidarse en las simulaciones de edificios de estructuras ligeras. Finalmente, se muestra que la integración de materiales de cambio de fase en paneles de pared o elementos de muebles puede mejorar apreciablemente la flexibilidad energética de los edificios.

El objetivo de este trabajo de los autores Carla & Giuseppe, (2017), es estudiar una fachada activa semi-opaca avanzada utilizando un enfoque de modelado multifísico. La fachada estudiada debe entenderse como un sistema de energía integrado, diseñado con materiales innovadores y soluciones de sistemas. Es un componente de construcción de envolvente compuesto por módulos opacos combinados con módulos transparentes, en los que se integran paneles multicapa, compuestos por materiales nano estructurados y sistemas fotovoltaicos de nueva generación. El enfoque multifísico utilizado para las simulaciones permitió considerar la dinámica de fluidos y el comportamiento térmico de los componentes, incluido el material de cambio de fase (PCM) que se produce en uno de los elementos del sistema bajo tensión microclimática externa, modificando su capacidad térmica a lo largo del tiempo.

En este trabajo, los autores Belakroum et al., (2017), se centraron en nuevos materiales de aislamiento basados en fibra de palmera datilera. Los materiales compuestos livianos desarrollados son materiales de construcción ecológicos de origen renovable y son menos contaminantes que los materiales sintéticos que tienen impactos dañinos en el medio ambiente. Para la fabricación de los composites, se utilizaron dos aglutinantes diferentes que son: lima y almidón de maíz. Las partes de la palma datilera que se utilizan para producir fibras son el tronco y los pecíolos (raquis). Los materiales de base biológica propuestos podrían proporcionar aislamiento térmico y absorción acústica; También podrían actuar como un material amortiguador de humedad para regular las variaciones de humedad relativa en interiores. Los coeficientes de absorción de sonido registrados muestran que estos materiales son buenos absorbentes de sonido, especialmente en las frecuencias medias y altas.

Esta investigación revisa el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía térmica por calor latente estudiados que detallan diversos materiales de cambio de fase (PCM) investigados en las últimas tres décadas, las técnicas de transferencia y mejora de calor empleadas en PCM para cargar y descargar de manera efectiva la energía térmica latente y la formulación de problema de cambio de fase. Según Agyenim, Hewitt, Eames, & Smyth, (2010), también examina la geometría y las configuraciones de los contenedores de PCM y una serie de pruebas numéricas y experimentales realizadas para evaluar los efectos de parámetros como la temperatura de entrada y el caudal máximo del fluido de transferencia de calor (HTF). En términos de formulación de problemas, el enfoque común ha sido el uso de la formulación de entalpía. La transferencia de calor en el problema de cambio de fase se formuló previamente utilizando un enfoque de conducción pura, pero el problema se ha movido a un nivel diferente de complejidad con una convección adicional en la fusión que se tiene en cuenta. No existe un método estándar (como los estándares británicos o los estándares de la UE) desarrollado para realizar pruebas de PCM, lo que dificulta la comparación para evaluar la idoneidad de los PCM para aplicaciones particulares. Una plataforma unificada como las Normas británicas, las normas de la UE deben desarrollarse para garantizar procedimientos y análisis iguales o similares (curvas de rendimiento) para permitir que la comparación y el conocimiento obtenido de una prueba se apliquen a otra.

1.2.4. Paneles de Aislamiento al Vacío.

Para empezar los autores Simmler & Brunner, (2005). Analizan el panel de aislamiento al vacío (VIP) como un componente de aislamiento térmico de alto rendimiento recientemente introducido en la tecnología de construcción. Su alta resistividad térmica proporciona nuevas soluciones para envolventes de edificios, delgadas pero de bajo consumo energético. Una de las cuestiones clave para la aplicación en edificios es minimizar las fallas en el servicio y garantizar una vida útil del orden de varias décadas en condiciones de estrés típicas, especialmente los efectos térmicos e higiénicos. Sin embargo, hasta ahora existe poca experiencia en las propiedades a largo plazo y la durabilidad de los VIP.

Es así como la tecnología de aislamiento por vacío constituye una solución nueva y atractiva para el aislamiento de envolventes de edificios, especialmente en casos donde ocurren limitaciones o un alto costo de espacio. Para los siguientes autores Mandilaras, Atsonios, Zannis, & Founti, (2014), la incorporación de paneles de aislamiento al vacío (VIP) en los sistemas compuestos de aislamiento térmico externo (ETICS) puede reducir drásticamente la transmitancia térmica de una pared al tiempo que conserva un espesor general bajo. Los problemas más importantes relacionados con esta nueva tecnología se relacionan con la vida útil y los puentes térmicos. La alta capacidad de aislamiento de los VIP concentrados en una capa de bajo espesor puede mejorar el efecto del puente térmico. Además, las condiciones de temperatura y humedad dentro de la pared pueden diferir de los valores para los cuales los productores garantizan la vida útil de los paneles.

Los paneles de aislamiento de vacío (VIP) se consideran una de las soluciones de aislamiento térmico de alto rendimiento más recientes. En el momento de la entrega, la conductividad térmica para un VIP puede ser tan baja como 0.02–0.04 W/m K dependiendo del material del núcleo. En relación al tema los autores como Kalnæs & Jelle, (2014), las casas pasivas, edificios de energía cero y edificios de cero emisiones. Por lo tanto, los VIP están ahora en las primeras etapas del mercado como un producto de construcción. La implementación de VIP en diversas construcciones de edificios ha aumentado el interés en las posibilidades de este producto, tanto en construcciones nuevas como restauradas. Aunque todavía no hay datos suficientes para concluir el efecto durante la vida útil de un edificio, se puede ver el resultado inmediato en la disminución del uso de energía. Con el objetivo de ofrecer una mejor garantía de calidad para los usuarios, hacer más avances en las tecnologías de envolventes y el desarrollo de los materiales principales, junto con una mayor reducción de costos, son aspectos cruciales para que los VIP se conviertan en una solución competitiva de aislamiento térmico para edificios.

Según el autor Kim et al., (2018), se están buscando soluciones de eficiencia energética como un enfoque sostenible para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases relacionados en diversos sectores de la economía. El panel de aislamiento de vacío (VIP) es un sistema de aislamiento avanzado de eficiencia energética que facilita un aislamiento delgado pero de alto rendimiento, basado en un material de núcleo poroso evacuado y encapsulado en una envoltura de barrera. Uno de los temas relacionados con el VIP es su durabilidad y envejecimiento debido al aumento dependiente de la presión y la humedad de la baja conductividad térmica inicial con el tiempo.

Otro de los autores Johansson et al., (2014), que investiga sobre los edificios antiguos que deben adaptarse para reducir el uso de energía para calefacción. El posible espesor de la capa de aislamiento está limitado por la construcción existente. Los paneles de aislamiento de vacío (VIP) requieren menos espesor que los materiales de aislamiento convencionales para alcanzar la misma resistencia térmica. El objetivo de este análisis es investigar el rendimiento higrotérmico de una pared de ladrillos con vigas de madera que se terminan después de que se aisló en el interior con VIP. Se utilizaron simulaciones numéricas higrotérmicas de una y dos dimensiones para diseñar un estudio de laboratorio en un simulador de clima de gran escala de edificios. El muro estaba expuesto a la lluvia sobre la superficie exterior y un gradiente de temperatura. La humedad relativa en la pared aumentó sustancialmente cuando se expone a la lluvia.

La demanda de edificios energéticamente eficientes ha aumentado drásticamente en los últimos años y esta tendencia continuará en el futuro. Los elementos aislantes del edificio desempeñarán un papel clave para satisfacer esta demanda al reducir las pérdidas de calor a través del tejido del edificio. Debido a su mayor resistencia térmica, los paneles de aislamiento de vacío (VIP) serían una alternativa más eficiente en términos de energía a los materiales de aislamiento de edificios convencionales. Para los autores Alam, Singh, & Limbachiya, (2011), los esfuerzos para desarrollar VIP con características adecuadas para aplicaciones en edificios nuevos y existentes están en marcha. También se describen las limitaciones de las herramientas de diseño empleadas actualmente junto con posibles futuros materiales como espumas nano / microcelulares y recubrimientos de SiO_x / SiN_x para uso en VIP.

1.2.5. Bloques de Tierra Comprimida.

A continuación veremos una descripción de este material, al cual se han realizado algunos estudios con mayor rigurosidad para que este en el escenario de materiales sostenibles.

A este propósito algunos autores como Galíndez, Fernando (2007), hacen investigación sobre el bloque de tierra comprimida desde sus propiedades mecánicas y su comportamiento ambiental, en su ciclo de vida el cual se hace de una manera mucho mas eficiente, eliminando la cocción, la cual tiene un alto grado de contaminación emitiendo partículas a la atmosfera, sino también se mitiga el consumo de materiales no renovables en el proceso de su fabricación. Este autor también desarrolla este tipo de mampuesto tipo BTC eliminando el porcentaje de cemento, otra gran ventaja de este material es la economía y por la facilidad en su fabricación, es idóneo para la autoconstrucción y construcción de edificaciones para la población de escasos recursos, convirtiéndolo en un material de tecnología limpia y con grandes expectativas para el desarrollo y la implementación a gran escala en el sector de la construcción en nuestro país y para nuestro caso en particular en la ciudad de Tunja.

Estos autores Arteaga Medina, Medina, & Gutiérrez Junco (2011), del grupo de investigación en construcción antisísmica (GICA), de la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia han realizado una investigación sobre tecnología de construcciones en tierra como son: el adobe, tapia pisada, bahareque y el bloque de tierra comprimida, para este último muestran distintas características según su fabricación puesto que estos bloques se les puede aligerar mediante perforaciones y esto ayuda a que se pueda hacer refuerzos estructurales (dovelas). Estos bloques se elaboran con una maquina llamada CINVA RAM la cual permite realizar moldes de distintas formas, estas diversas geometrías o formas favorecen al comportamiento estructural y como acabado arquitectónico.

Al afirmar que la tierra como material eficiente, ciclo de vida de bajo impacto y de tecnología limpia, algunos autores como son Maldonado, Luis Castilla, Pascual Vela, Fernando, (2001), hablan sobre el rendimiento energético de las edificaciones y como los técnicas de acondicionamiento pasivo pueden disminuir el consumo energético pero no en su totalidad, dando paso a las estrategias activas con las fuentes de energía convencional, de acuerdo a la zona climática donde es desarrollado la edificación. Ellos afirman que la capacidad térmica del material consiste en alta inercia gracias a su gran masa y la resistividad del material de tierra y con la adición de estabilizantes.

A continuación se observa tabla 2 de acuerdo a los autores y las características del material en relación a las tecnologías limpias.



BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA			
AUTOR	AHORRO ENERGÉTICO	VALORIZACIÓN DE RESIDUOS	TOXICIDAD
(Galíndez, 2007)	Térmicamente funcional. Transporte de tierra a obra.	Auto-reciclaje. No contaminan	No emite ningún tóxico al ser humano. No radiación
(Arteaga Medina, Medina, & Gutierrez Junco, 2011)	Fácil producción. Eficiencia y rapidez.	Auto-reciclaje. Disminución de contaminación al medio ambiente.	Evita alterar los ecosistemas. Sustancias de origen orgánico.
(Maldonado, Luis Castilla, Pascual Vela, Fernando, 2001)	Térmicamente apropiado. Durabilidad del material.	Auto-reciclaje. No contaminan.	Sustancias de origen orgánico. No radiación.

Tabla 2. Bloque de Tierra Comprimida características.

2. Planteamiento del problema.

En Colombia se puede evidenciar la falta de aplicación de conocimiento en los diseños de viviendas VIS, puesto que estos diseños son estandarizados y no tienen en cuenta los diferentes tipos de climas existentes en el país. De manera directa se ven afectadas las personas, las edificaciones en su habitabilidad, por esta razón el confort térmico es uno de los elementos que tienen gran relevancia en cualquier espacio habitable para el ser humano, de acuerdo con este argumento es importante el conocimiento y estudio de la envolvente en las edificaciones.

Para ello, es importante el estudio de la incidencia de los factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa, los vientos, la precipitación. Por otro lado, la utilización inadecuada de materiales de construcción en las envolventes de las edificaciones que hacen que el confort térmico sea deficiente, afectan de manera directa a las personas y edificaciones en diferentes niveles, como por ejemplo la salud, el bienestar.

Sin embargo, ya existen muchas soluciones a estos problemas a nivel de diseño y de tecnología. Para el caso de la ciudad de Tunja se observa que en la gran mayoría de las viviendas VIS los materiales de construcción de la envolvente no son los más adecuadas por el desconocimiento de los diseñadores y de los constructores locales. Lo cual conlleva a un desconfort térmico. Por tanto, el fin de esta investigación es dar una respuesta adecuada mediante la utilización de tecnologías limpias para mejorar sustancialmente la calidad de las envolventes en sus áreas opacas de la vivienda VIS en la ciudad de Tunja.



2.1. Pregunta de Investigación General.

¿Cuál es el comportamiento térmico óptimo para el diseño de las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja que cumplan con los requerimientos mínimos de habitabilidad?

2.1.1. Preguntas de Investigación Específicas.

1. ¿Cuáles son las condiciones óptimas de las envolventes de vivienda VIS que permitirían la implementación de tecnologías limpias para mejorar su eficiencia energética en la ciudad de Tunja?

2. ¿Qué tipo de materiales sostenibles son adecuados para el mejoramiento del aislamiento térmico en las envolventes?

2.2. Justificación.

El Instituto de Recursos Mundiales WRI estima que 330 millones de hogares en el mundo no cuenta vivienda digna y que este número puede crecer un 30% para el 2025. Según BBVA Research Colombia, en nuestro país, 2,2 millones de hogares tienen déficit habitacional. De ellos, 600.000 hogares no tienen casa o viven en hacinamiento (déficit cuantitativo) y 1,6 millones necesitan mejoras de vivienda (déficit cualitativo). Las políticas adoptadas por el gobierno nacional sobre vivienda han sido exitosas en la consolidación del sector de la construcción a partir del 2010, esto es el reflejo de 1,5 millones de viviendas que se han iniciado desde el 2010 ha 2017, beneficiando a casi 5 millones de colombianos (Informe de Gestión al congreso de la República junio 2016- mayo 2017). Con estos datos se logra observar que el crecimiento de la vivienda VIS tiene un impacto importante, por lo que se hace necesario una revisión de la calidad constructiva de estas viviendas.

Por otra parte, los materiales de construcción deben contribuir a preservar la vida (Guías para asistencia técnica para viviendas de interés social no. 2). No solamente los esfuerzos deben ir dirigidos a la parte estructural, ya que la calidad y la escogencia de los materiales para las envolventes de acuerdo con su clima deben ir complementándose para tener un confort en sus diferentes aspectos. Entonces, se hace necesario, avanzar en la implementación de Tecnologías Limpias con el fin de mejorar sustancialmente la calidad de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja para que de esta manera se pueda mitigar el impacto que se genera de la construcción.

2.2.1. Consideraciones éticas.

El valor que va a tener esta investigación está basado en el carácter científico, social, ambiental y económico. Esta investigación está dirigida a una intervención puntual que es la mejora de la vivienda VIS en su calidad de vida para las comunidades que la integran, mediante la conceptualización y el empleo de herramientas para crear estrategias y criterios de diseño sostenible. Los resultados que surjan de la investigación deben ser confiables medibles y verificables para que haya una validez de investigación. El ejercicio de la investigación científica y el uso del conocimiento producido por la ciencia exigen conductas éticas en el investigador.

EL impacto que tiene la vivienda VIS en nuestros territorios es muy alto en el ambiente, por tal razón es favorable continuar con las investigaciones en este campo e ir avanzando en el mejoramiento de la calidad de vida, mitigar los impactos sobre el ambiente y desde el punto de vista político. Para ello es necesario que esta investigación se realice con el mayor rigor para que sea un instrumento que favorezca a las diferentes comunidades: personas que habitan en vivienda VIS, comunidad científica para continuar con investigaciones posteriores, políticas serias en cuanto normatividad en la construcción de esta tipología de viviendas.

2.3. Objetivos.

Objetivo General.

Analizar el comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja para que cumplan con los requerimientos mínimos de habitabilidad.

Objetivos Específicos.

1. Determinar las condiciones óptimas de las envolventes de vivienda VIS en Tunja con la implementación de tecnologías limpias para mejorar su eficiencia energética.
2. Proponer materiales sostenibles para el mejoramiento del aislamiento térmico en las envolventes, con esto llegar al confort térmico deseado en el clima de Tunja en viviendas VIS.

3. Aspectos metodológicos.

3.1 Tipo de investigación.

Esta investigación fue de tipo cualitativo y utilizo como técnicas de estudio la estadística climática y la simulación por computación. A partir de datos estadísticos climáticos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y la estación meteorológica de la Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia en Tunja.

3.2 Metodología.

El propósito de la investigación es el análisis del comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja, mediante la obtención de las cargas térmicas donde se evaluarán diferentes estrategias de control térmico con el propósito de generar recomendaciones para el diseño de esta tipología vivienda. Se efectuarán estudios de carácter general para hacer evaluaciones del rendimiento térmico de la envolvente (fachadas), utilizados en la construcción y como el uso incorrecto de los materiales puede llegar a generar un impacto negativo en la calidad de vida de sus habitantes y de qué manera se pueden optimizar los materiales para lograr el confort térmico.

La metodología de investigación parte del análisis bibliográfico para establecer variables dependientes con la pregunta de investigación: confort térmico, eficiencia energética, vivienda de interés social, envolvente y tecnologías limpias. Seleccionar fuentes primarias para la construcción de un marco teórico que permita dar respuesta a esta pregunta de investigación. Clasificar artículos en relación con las variables de estudio, realizar una búsqueda bibliográfica en las bases de datos científicas. Todo este análisis y selección con el fin de aplicarlo a un estudio de caso concreto en la ciudad de Tunja, para el análisis de la variabilidad en el clima y su incidencia en el confort térmico.

Se revisaron los antecedentes y se determinaron las tipologías de las envolventes a analizar en cuanto a su comportamiento térmico, eficiencia energética y de las necesidades a satisfacer referentes al confort térmico en la edificación. Así mismo, se analizaron los materiales más utilizados en la construcción de viviendas VIS en Tunja y se evaluaron distintos materiales con tecnologías limpias seleccionando los bloques BTC por ser los convenientes tanto en precio como en producción y características ambientales.

EL trabajo de campo que se llevó a cabo mediante recolección de datos, mediciones y observación para luego realizar un proceso lógico de análisis apoyados con los siguientes softwares: Climate Consultad 6.0; Elements 1.0.6 y Desing Builder 5.5 con el cual se hicieron las modelaciones y simulaciones de los materiales de construcción utilizados por el mercado y el material de tecnología limpia seleccionado en análisis correspondiente. Con esto se identificó el mejor desempeño de los materiales en relación con su comportamiento de su variabilidad térmica, en relación con las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja.

Para el análisis de los datos, se contrasto el mapa climático de los últimos 30 años de la ciudad de Tunja. A si mismo, se tipificaron las envolventes utilizados por los constructores en la vivienda VIS de dicha ciudad. Para este proceso de análisis de datos se determinarán valores de acuerdo con las variables conseguidas con el análisis que afectan al confort térmico según la variabilidad climática de la ciudad de Tunja. Por último, los resultados de datos fueron clasificados de acuerdo con los criterios de confort térmico analizados en las simulaciones.

A continuación, en la Tabla 3 se muestra gráficamente los pasos metodológicos de la investigación.

FASES DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN				
ÍTEM	ETAPAS	OBJETIVOS	INFORMACIÓN	HERRAMIENTAS
1	Recopilación de información preliminar	1.1 Recopilación de información	Datos climáticos	Análisis climático
		1.2 Identificación de restricciones	Normas	Cartas de confort
		1.3 Estudio de Condiciones climáticas	Antecedentes	Identificación de variabilidad térmica
		1.4 Definición de eskena espacial	Tipologías	
2	Análisis de Información	2.1 Evaluación de envolventes	Identificación de las variables de la envolvente.	Análisis de los parámetros de la envolvente de vivienda VIS.
		2.2 Análisis de los materiales y definición de la envolvente.	Identificación de Tecnologías Limpias.	
3	Evaluación Final	3.1 Análisis térmico	Datos climáticos. Datos materiales, datos de horarios de ocupación de espacios.	Simulaciones de tipologías de viviendas VIS de la ciudad de Tunja.

Tabla 3. Facs metodológicas de la investigación

3.3 Hipótesis de investigación

A continuación se presenta la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1) utilizada en la investigación.

H_0 : La mejora en el aislamiento térmico a partir de la aplicación de tecnologías limpias en las envolventes (fachadas) de las viviendas VIS en Tunja permite cumplir con los requerimientos mínimos de habitabilidad.

H_1 : La aplicación de materiales sostenibles mejora el aislamiento térmico en las envolventes (fachadas) de la vivienda VIS en la ciudad de Tunja.

4. Estudio de las condiciones climáticas de la ciudad de Tunja.

De acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica en la Universidad Pedagógica Tecnológica de Colombia (U.P.T.C) en la ciudad de Tunja entre los años de 1988 a 2018 se distinguen los diferentes coeficientes de los diversos factores climáticos en la ciudad de Tunja. Con los cuales se analizaran para tener en cuenta los criterios de diseño de las envolventes (fachadas) de edificaciones para obtener optimo confort y eficiencia energética con la implementación de estrategias pasivas en la medida de lo posible.

En las últimas tres décadas el comportamiento climático en la ciudad de Tunja ha venido creciendo paulatinamente alrededor de un grado centígrado, esto corresponde de una manera directa o indirecta al calentamiento global.

De acuerdo a la clasificación mundial de climas según el sistema de Köppen, para la ciudad de Tunja es Templado isotermal tipo Ganges canícula (Csb). Al igual que todas las regiones de la Zona Intertropical, el clima está influenciado solamente por la altitud y las corrientes oceánicas que causan leves variaciones de temperatura, la más significativas entre el día y la noche.

Para la realización de esta investigación uno de los factores relevantes es la climatología, es de importancia ya que analizar, entender el comportamiento climático es de gran ayuda para garantizar las diferentes directrices y criterios en la toma de decisiones en cuanto al diseño de las edificaciones. Para ello, se utilizó la información de las últimas tres décadas.

DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO TUNJA - 1988 - 1998												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura máx. (°C)	19,7	19,9	19,8	19,1	18,1	16,9	16,2	16,9	17,8	18,3	18,5	18,7
Temperatura media (°C)	13,2	13,5	13,6	13,8	13,4	12,4	12,0	12,2	12,7	13,1	13,2	13,0
Temperatura mín. (°C)	7,4	8,3	9,3	9,8	9,8	9,2	8,6	8,3	8,1	8,7	9,0	7,7
Humedad relativa med (%)	73,5	73,4	74,9	77,7	80,8	81,8	81,9	80,7	78,3	78,5	78,5	75,8

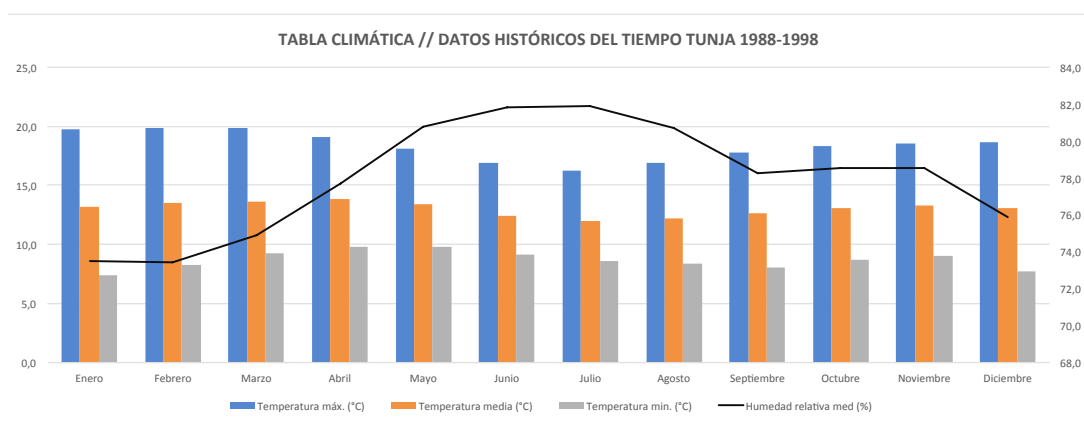


Tabla 4. Climograma de Temperatura Vs Humedad Relativa periodo 1988-1998.

A partir del análisis de los datos históricos de 1988-1998, se puede evidenciar que los promedios de temperatura máximas es de 18,3°C, y promedio de temperatura mínima es de 8,7 °C. Se observa una fluctuación de 10°C, el promedio de temperatura varía entre los 12°C en el mes de julio y los 13,8°C mes de abril, teniendo un temperatura de 13°C como promedio; la humedad relativa en los meses de enero y febrero tienden a estar estables en 73%, pero luego en los siguientes meses hasta julio tiende a subir a más del 80%, para los meses restantes hasta diciembre la tendencia es a bajar hasta 75%, el promedio de esta década para la humedad relativa es de 78% (ver Tabla 4).

DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO TUNJA - 1998 - 2008												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura máx. (°C)	19,7	20,3	19,8	18,8	18,1	17,0	16,7	17,1	17,8	18,6	18,8	19,0
Temperatura media (°C)	13,4	13,8	13,9	13,8	13,5	12,4	12,3	13,2	12,7	13,3	13,4	13,4
Temperatura mín. (°C)	7,5	8,3	9,2	9,9	9,9	9,2	8,6	8,5	8,2	9,0	8,9	8,4
Humedad relativa med (%)	74,2	74,0	75,6	78,9	81,2	82,2	82,1	81,0	79,4	78,9	79,5	77,9

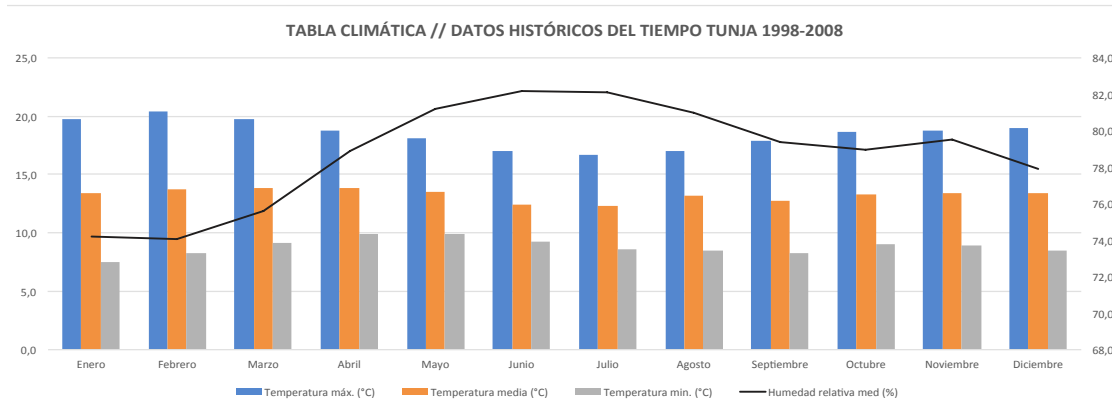


Tabla 5. Climograma de Temperatura Vs Humedad Relativa periodo 1998-2008

En esta tabla podemos identificar que para los años 1998-2008, que las temperaturas máximas para este periodo de tiempo llegan 20,5°C en el mes de febrero, y temperatura más baja 7,5 para el mes de enero, con una variación térmica de 13°C. El promedio de temperatura para este tiempo es de 13,2°C, se evidencia un aumento en la temperatura promedio de un ¼ de grado. Al mismo tiempo se analiza la humedad relativa que tiene una tendencia a la de la década pasada pero con una variación en aumento del porcentaje, con una máxima de 82% en promedio y un mínima de 74% en promedio dando como resultado de los 10 años analizados un 78,7% . Con esto podemos concluir que tanto la temperatura promedio como la humedad relativa promedio tiene una tendencia a subir (ver Tabla 5).

DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO TUNJA - 2008 - 2018												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura máx. (°C)	19,6	19,9	19,9	18,7	17,9	17,1	16,6	17,2	18,1	18,7	19,1	18,8
Temperatura media (°C)	13,3	13,7	14,1	13,8	13,6	12,6	12,4	12,6	12,9	13,4	13,7	13,2
Temperatura mín. (°C)	7,4	8,2	9,3	9,8	9,9	9,2	8,7	8,6	8,1	8,7	9,2	8,1
Humedad relativa media (%)	71,2	70,5	72,2	76,2	77,4	79,1	79,7	78,0	75,5	75,4	76,0	75,0

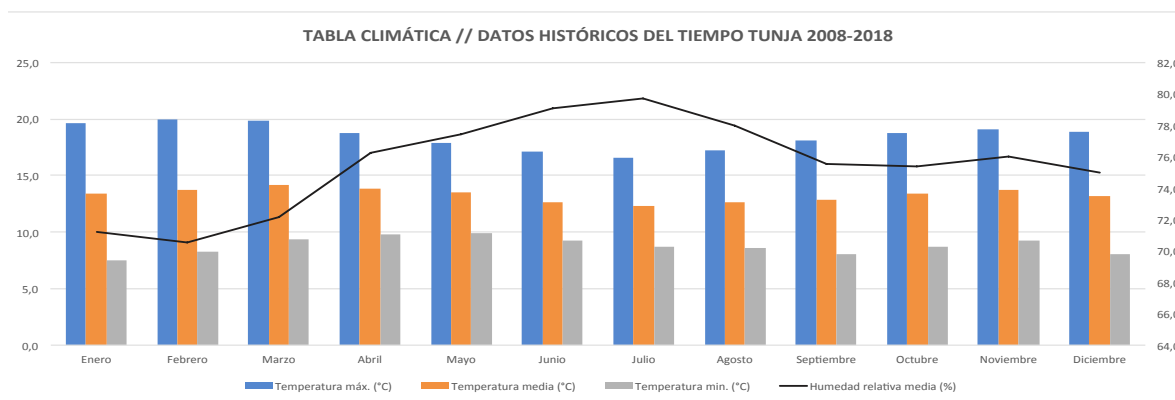


Tabla 6. Climograma de Temperatura Vs Humedad Relativa periodo 2008-2018

La humedad relativa en estos últimos 10 años desde 2008-2018, se en contra con unos valores máximos en el mes de julio con 79,7% de promedio y el mes de febrero con 70,5% de promedio, obteniendo de estas das medidas un promedio de 75,5%. En cuanto a la temperatura los máximos el mes de marzo con 19,9°C promedio mes, y la más baja en temperatura es 7,4°C en el mes de enero, se distingue una oscilación de 12,5°C en promedio para este periodo y con promedio de 13,5°C. Haciendo una revisión de los valores promedio de los últimos 30 años, a manera de conclusiones: 1) podemos evidenciar que la temperatura está subiendo ½ grado centígrado y que la humedad relativa descendió 3,2% con respecto de la década anterior. 2) De esta manera podemos demostrar con estos climogramas que a mayor temperatura, menor humedad relativa y a mayor humedad relativa, menor temperatura. 3) Para la ciudad de Tunja el delta de oscilación es amplio con un promedio de 11,8°C en estas últimas 3 décadas.

Por consiguiente se hace necesario hacer diferentes tipos de investigación, sobre materiales que tengan esta capacidad de recuperación entre el día y la noche, para las envolventes y en esta investigación en los materiales constructivos de las fachadas, teniendo en cuenta que la oscilación es amplia y el clima es templado isometral tipo Ganges canícula, según la clasificación de Köppen.

VELOCIDAD DE VIENTO EN TUNJA												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Velocidad de vientos/m/seg	0,94	0,98	0,96	0,82	0,83	0,92	0,97	0,99	0,98	0,80	0,72	0,81

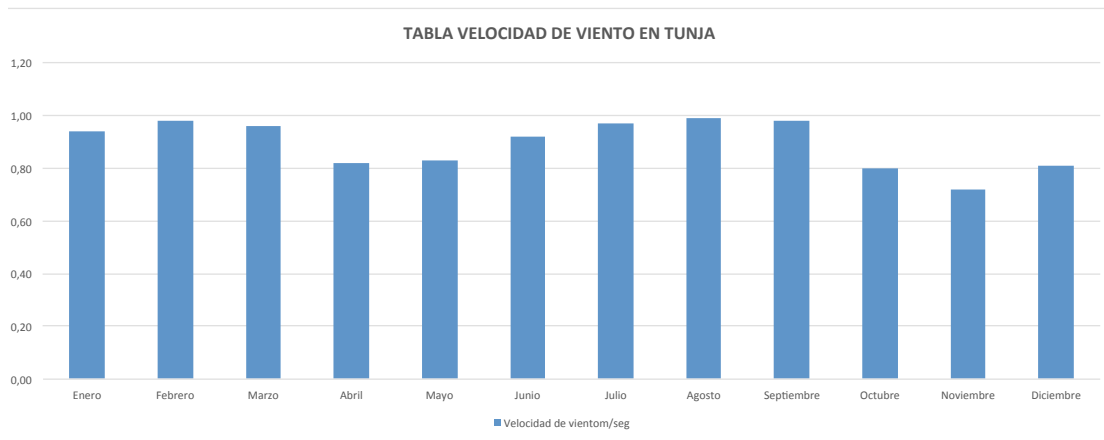


Tabla 7. Climograma de Velocidad de viento periodo 2018.

La determinante del viento logra una velocidad máxima de 0,99 m/seg para los meses de Agosto y Septiembre, y en su velocidad mínima llega en promedio de 0,75m/seg de los meses de Octubre y Noviembre. El viento es uno de los factores naturales que inciden en el diseño de la edificación porque la temperatura es baja y la humedad relativa es alta la sensación térmica es de frío y puede llegar a darse corrientes internas de aire, lo cual llega a ser muy molesto para los ocupantes de este tipo de edificación.

Para el factor de precipitación vemos que llega a un máximo de 133mm y 99mm en el mes de Abril y Octubre. En los meses de Enero y Febrero se observa una mínima precipitación de 25mm promedio. En la ciudad de Tunja, teniendo en cuenta las proyecciones del cambio climático para esta zona, se aumentarían las precipitaciones considerablemente, con consecuencias como inundaciones, proliferación de vectores, deslizamientos de tierras y colapsando el sistema recolector de aguas lluvias de la ciudad.

4.1. Cartas de confort.

Para la elaboración de las cartas de confort, primero se realizó una identificación del tipo de clima de Tunja de acuerdo con la clasificación climática de Köppen. El resultado de la clasificación según este sistema fue que la ciudad de Tunja tiene un clima Templado isometral tipo Ganges canícula. (ver tabla 8). En la tabla 9 se presentan los datos generales del clima. En la tabla 10 se presentan los datos generales de la ciudad. En la tabla 11 están los datos del mapa climático de los últimos 30 años con la cual se calculó la fórmula climática. Las tablas muestran los promedios mensuales de temperatura y precipitación de los últimos 30 años en la ciudad de Tunja. Por último, la figura 1 muestra las temperaturas máxima y mínima y la humedad relativa máxima y mínima mensual de los últimos 30 años.



Grupo climático	CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA
A C B E	Cb (x')(w1)igw"
Descripción:	Templado isotermal tipo ganges canícula

Tabla 8. Clasificación climática Köppen para Tunja.

Datos Generales del Clima

Temp. (°C) ; Prec. (mm)	
Temp. Maxima:	14,1
Temp. Media:	13,3
Temp. Mínima:	12,4
Prec. Máxima:	123,8
Prec. Mínima:	17,7
Prec. Total.	686,0
P/T	51,58
% Prec. Invernal	14,15%
Oscilación	1,7

Tabla 9. Datos Generales de clima en Tunja.

Datos Generales

Ciudad:	Tunja
Estado:	Boyaca
Estación:	
Coordenadas Geográficas:	
Latitud:	5°32'25" N
Longitud:	73°21'41" Oeste
Altitud:	2822 msnm
Periodo de observación:	
Temperatura	30 años
Precipitación	30 años

Tabla 10. Datos Generales de Ubicación de Tunja.

Datos Climáticos

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Temperatura	13,6	13,7	14,1	13,8	13,6	12,6	12,4	12,6	12,9	13,4	13,7	13,2	13,3
Precipitación	17,7	32,4	47,0	123,8	86,1	45,6	60,5	35,9	32,9	73,6	88,1	42,4	686,0

Tabla 11. Datos climáticos de promedios ultimas 3 décadas en Tunja.

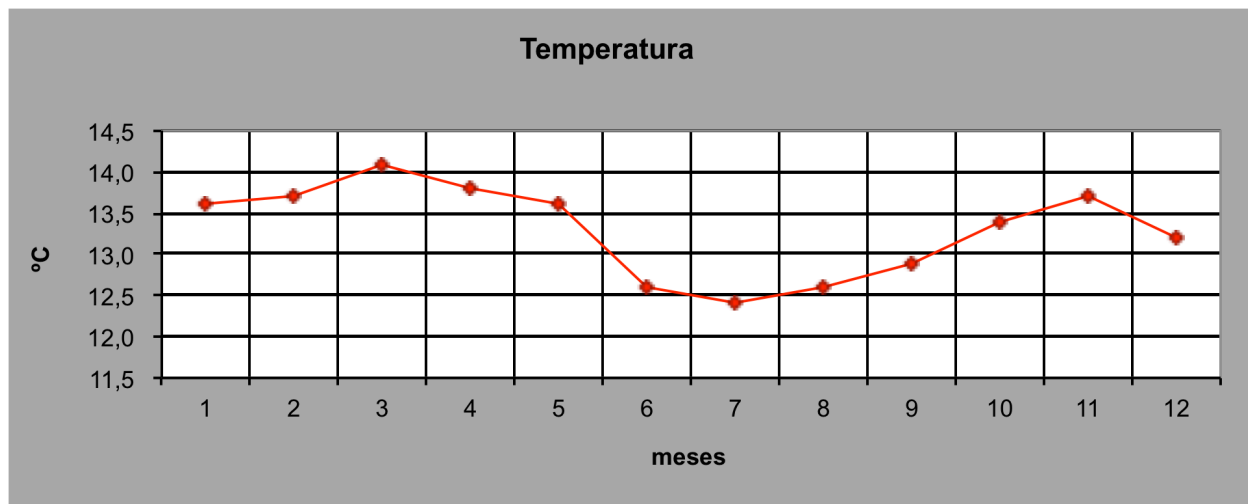


Figura 1. Datos climáticos de Temperatura promedios ultimas 3 décadas en Tunja.

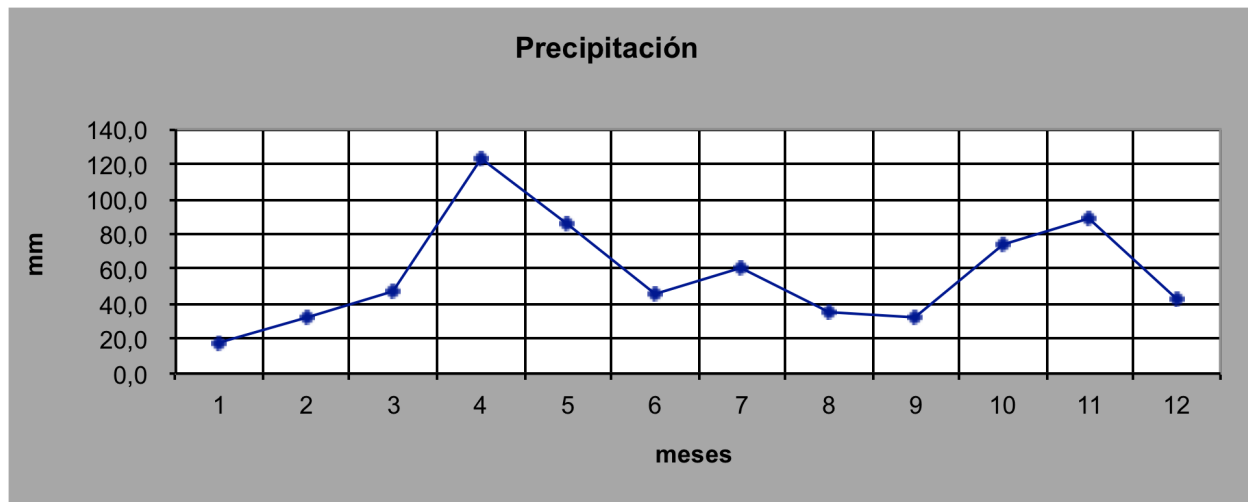


Figura 2. Datos climáticos de Precipitación promedios ultimas 3 décadas en Tunja.

N	Categoría	Subcategoría	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax
1	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Enero	7,4	19,7	52,3%	94,8%
2	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Febrero	8,3	19,9	53,7%	93,1%
3	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Marzo	9,3	19,8	54,2%	95,6%
4	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Abril	9,8	19,1	62,1%	93,3%
5	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Mayo	9,8	18,1	69,8%	91,7%
6	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Junio	9,2	16,9	75,4%	88,2%
7	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Julio	8,6	16,2	73,8%	90,0%
8	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Agosto	8,3	16,9	70,5%	91,0%
9	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Septiembre	8,1	17,8	67,3%	89,2%
10	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Octubre	8,7	18,3	65,1%	91,9%
11	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Noviembre	9,0	18,5	69,9%	87,1%
12	Templado isometral (Cb -clasificación Koppen)	Ganges canícula (Cb -clasificación Koppen)	Tunja, Boyaca, Colombia	Diciembre	7,7	18,7	63,2%	88,5%

Tabla 12. Datos climáticos de Temperatura máx., mín y Humedad relativa máx., mín promedios ultimas 3 décadas en Tunja.

En segundo lugar con la información anterior se realizó la carta de confort para identificar la distancia que tiene la variabilidad térmica que tiene respecto a la zona de confort de la carta psicrométrica (ver tabla 12). Se observa que el rango de temperatura esta entre 10°C a 19°C con una humedad relativa entre 52% a 96% . Dando como resultado que el clima general de Tunja esta por fuera del rango de confort propuesto en la carta psicrométrica entre 20°C a 27°C. A si mismo el clima de Tunja no alcanza el rango de confort de acuerdo a la norma 0549 de 2015 que plantea un rango de 21°C a 25°C. Esto lleva a la validez de esta investigación en cuanto el análisis de la envolvente es su aspecto de la fachada en cuanto a su comportamiento térmico y en el mejoramiento del confort térmico y rendimiento energético.

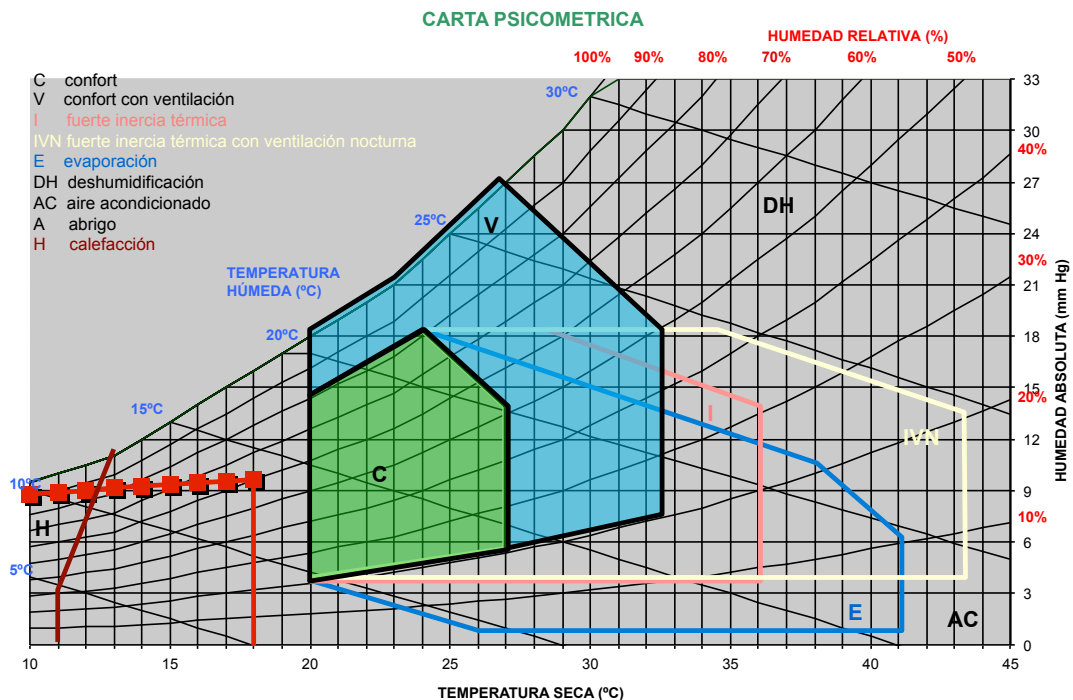


Figura 3. Carta Psicométrica para Tunja.

8	A PROPOSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL		
CALOR	CONFORT SIN INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILACIÓN		
	REFRIGERACIÓN NATURAL POR EVAPORACIÓN		
	CLIMATIZACIÓN ARTIFICIAL		
FRIÓ	VIVIENDA SIN INERCIA TÉRMICA	En un edificio sin mucha inercia térmica puede ser necesario el uso de abrigo y algún sistema de calefacción durante las horas más frías	MIN en zona H
	VIVIENDA CON INERCIA TÉRMICA	En un edificio con fuerte inercia térmica es necesario la utilización de abrigo	MED anterior a zona C sin llegar a zona H

Tabla 13. Estrategia bioclimática para Tunja.

Finalmente, como resultado del análisis de la carta psicométrica se identifica las siguientes estrategias: 1. vivienda sin inercia térmica: En un edificio sin mucha inercia térmica puede ser necesario el uso de abrigo y algún sistema de calefacción durante las horas más frías. 2. vivienda con inercia térmica: en un edificio con fuerte inercia térmica es necesario la utilización de abrigo.

4.2 Identificación del comportamiento térmico de la ciudad de Tunja.

Se puede identificar diferentes factores para el comportamiento térmico, a continuación mediante esta tabla se realizara un análisis de cómo ha sido su comportamiento en las últimas tres décadas.

DATOS HISTÓRICOS DEL CLIMA EN TUNJA - 1988 - 2018												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura máx. (°C)	19,7	20,0	19,8	18,9	18,0	17,0	16,5	17,1	17,9	18,5	18,8	18,8
Temperatura mín. (°C)	7,4	8,3	9,3	9,8	9,9	9,2	8,6	8,5	8,1	8,8	9,0	8,1
Variabilidad Térmica	12,2	11,8	10,6	9,0	8,2	7,8	7,9	8,6	9,8	9,7	9,8	10,8
Humedad Relativa media (%)	73,0	72,6	74,2	77,6	79,8	81,0	81,2	79,9	77,7	77,6	78,0	76,2
Presipitación (m.m)	17,7	32,4	47,0	123,8	86,1	45,6	60,5	35,9	32,9	73,6	88,1	42,4

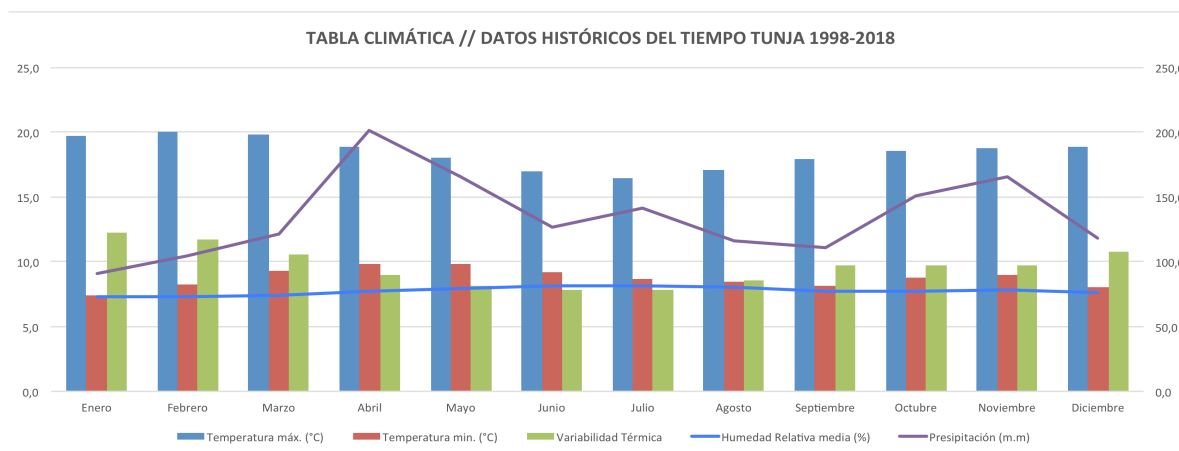


Tabla 14. Comportamiento del clima en Tunja.

En la tabla se observa que la variabilidad térmica de promedios tiene unas oscilaciones máximas de 12,2°C en el mes de enero, hasta su mínima de 7,8°C en mes de junio, estos resultados nos permiten analizar que el espectro de las fluctuaciones de temperatura son altas, con esto se puede concluir que los materiales que constituyen las envolventes tienen que tener un alto rendimiento para poder estar en los rangos de confort térmico. La humedad relativa en sus promedios de los últimos 30 años está en un máximo promedio de 80,2% y un mínimo de 72,6% de promedio, de esta manera se evidencia que, en la ciudad de Tunja, la humedad relativa está por encima del estándar de acuerdo con las normativas internacionales y locales, en concordancia con la variabilidad térmica. Otro factor no menos importante es de la precipitación que no es alta pero tiene mucha influencia en la climatología de Tunja.

5. Características de las envolventes de las viviendas sociales en la ciudad de Tunja.

A partir del análisis de datos recolectados por el CAMACOL en el censo de edificaciones de 2018, se establecen los diferentes sistemas constructivos aplicados en la vivienda VIS en la ciudad de Tunja. Con base en la recolección de estos datos y los conceptos de los sistemas dados por la NSR- 10 de Vivienda de Interés social, se puntualizan 3 tipologías de fachada para el análisis; las tipologías que se caracterizaron fueron: 1) Mampostería estructural. 2) Sistemas industrializados (Formaletería tipo Túnel). 3) Mampostería confinada con ladrillos macizos.

Tipologías de materiales de construcción para envolventes en la ciudad de Tunja:

TIPOLOGIAS ENVOLVENTES VIVIENDA VIS TUNJA		
MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL	TIPO TUNEL	MAMPOSTERIA CONFINADA LLADRILLO MACIZO
Mampostería de cavidad reforzada	Sistema industrializado para construcción de vivienda, que generan elevados rendimientos en obra y un mejor aprovechamiento de los recursos, al crear una especie de producción en serie. La industrialización de los procesos constructivos permite, mediante el uso de una formaletería metálica modulada, una unidad de vivienda tipo, con el principio de rotación diaria de la formaletería que le permite una velocidad de construcción con eficiente ocupación del personal. El sistema estructural está compuesto por placas y muros en concreto reforzado con mallas electrosoldadas de alta resistencia.	Construcción de mampostería de muros confinados se basa en la colocación de unidades de mampostería conformando un muro que luego se confina con vigas y columnas fundidas in situ. El refuerzo debe incluirse dentro de las columnas y vigas de confinamiento, para que el muro sea considerado como muro estructural, este debe tener continuidad desde la cimentación hasta la cubierta. Muros confinados aquellos que resisten las fuerzas horizontales causadas por el sismo, el viento, además de soportar cargas verticales, muertas y vivas. Los muros que no soportan cargas diferentes a las de su propio peso se conocen con el nombre de muros confinados no estructurales, sirven para separar espacios dentro de la edificación. Deben ser capaces de resistir las fuerzas que el sismo les impone bajo su propio peso.
mampostería de caras paralelas reforzadas o no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado		
Mampostería reforzada		
Construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de un mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero		
Mampostería no reforzada		
Construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de un mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas.		

Tabla 15. Tipologías de Viviendas VIS en Tunja.

5.1. Características tecnológicas de las envolventes de las viviendas sociales en Tunja.

Tipologías del Mercado.

Ciertamente las tipologías que son utilizadas en la vivienda VIS, como todos los materiales tienen propiedades físicas y mecánicas, a continuación, se realiza una caracterización de sus propiedades como el valor U de transmitancia térmica, el valor de conductividad térmica λ y resistencia térmica, con esto podemos comparar cuáles son los materiales más apropiados para lograr el objetivo de confort térmico en relación con la norma nacional e internacional.

5.1.1. Muro en bloque estructural hueco.

Esta tipología de muro está compuesta por dos capas, una interna formada por un mortero (pañete) y otra por una constitución de soporte principal que es el bloque estructural. Efectuado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales y los espesores de los mismos, se obtiene una Transmitancia térmica de 2,86 W/m²K.

TIPOLOGIA N° 1 MURO BLOQUE ESTRUCTURAL HUECO				
CAPAS	ESPESOR (m)	LAMBDA λ w/m	RESISTENCIA TERMICA K·m ² /W	COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" W/m ² K
Bloque estructural hueco	0,12	0,76	0,16	2,86
Mortero/de 1800 kg/m ³	0,02	0,90	0,02	

Tabla 16. Tipología de muro bloque estructural.

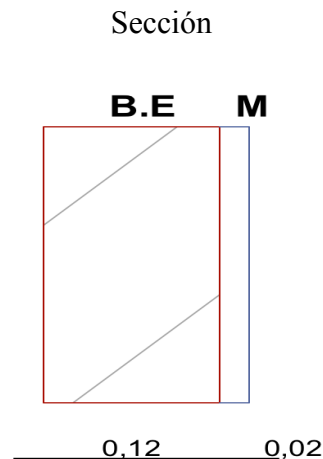


Figura 4. Sección muro bloque estructural.

5.1.2. Muro en sistema industrializado tipo Túnel.

Esta tipología de muro está compuesta por tres capas, una interna por un mortero (pañete), otra por una constitución de soporte principal que es el concreto fundido in situ y una capa externa compuesta de cerámica (fachaleta) Efectuado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo con los valores de resistencia térmica de los materiales y los espesores de estos, se obtiene una Transmitancia térmica de 2,95 W/m²K.

TIPOLOGIA Nº 2 MURO HORMIGÓN 1600kg/m ³ + FACHALETA + MORTERO				
CAPAS	ESPESOR (m)	LAMBDA λ w/m	RESISTENCIA TERMICA K·m ² /W	COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" W/m ² K
Fachaleta	0,03	0,92	0,03	2,95
Hormigón/de 1600 kg/m ³	0,08	0,70	0,11	
Mortero/de 1800 kg/m ³	0,02	0,90	0,02	

Tabla 17. Tipología muro hormigón + fachaleta.

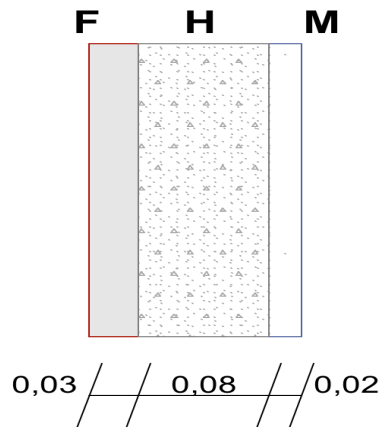


Figura 5. Sección muro hormigón + fachaleta.

5.1.3. Muro en ladrillo macizo.

Para la tipología de este muro está compuesta por tres capas, una interna consolidada por un mortero (pañete), otra por una constitución de soporte principal que es el ladrillo macizo y una capa externa de mortero (pañete) Efectuado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo con los valores de resistencia térmica de los materiales y los espesores de estos, se obtiene una Transmitancia térmica de 2,84 W/m²K.

TIPOLOGIA Nº 3 MURO LADRILLO MACIZO				
CAPAS	ESPESOR (m)	LAMBDA λ w/m	RESISTENCIA TERMICA K·m ² /W	COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" W/m ² K
Mortero/de 1800 kg/m ³	0,02	0,90	0,02	2,84
Ladrillo macizo	0,12	0,87	0,14	
Mortero/de 1800 kg/m ³	0,02	0,90	0,02	

Tabla 18. Tipología muro ladrillo macizo.

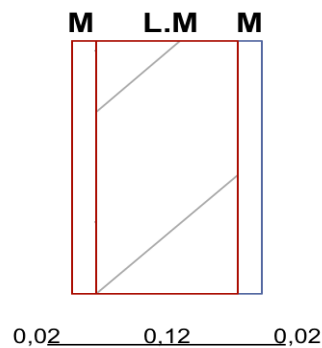


Figura 6. Sección muro ladrillo macizo.

Cabe concluir que, la utilización de materiales de construcción para viviendas derivan de materias primas cuyos procesos de extracción y producción generan altos consumos de energía, agua y combustibles fósiles causando impactos muy altos al medio ambiente, que por lo general no son tomados en cuenta por los constructores, arquitectos e ingenieros desde un enfoque sostenible. Aún no se ha tomado conciencia de los impactos generados por los sistemas constructivos que llamamos tradicionales, no estamos analizando el ciclo de vida de cada material esto según autores como Klees, Coccato, (20015), que estamos empleando, esto podría darse por el desconocimiento de las tecnologías limpias que ahora se pueden utilizar gracias a la industrialización de estos nuevos materiales.

Considerando este punto de vista, el criterio en la selección de materiales para lograr una construcción amigable con el medio resulta una decisión importante ya que con esta, se pueden reducir consumos de materias primas y por lo tanto generación de energía elevados bajando las emisiones de Co₂. De aquí que los materiales que se están utilizando en la vivienda VIS en Tunja tienen valores U muy altos, se logra evidenciar que térmicamente no están funcionando, puesto que en la norma nos dice que deben tener un valor U de 1,25 W/m²K, y de los materiales utilizados en la construcción el valor U más bajo es de 2,84 W/m²K. Una de las razón por la que se utiliza estos materiales, es por su comercialización, industrialización y que los constructores tienen desconocimiento de los nuevos materiales.

5.2. Tipologías propuesta de tecnologías limpias.

5.2.1. Bloque de Tierra Comprimida BTC.

Para la tipología de este muro está compuesta por tres capas, una interna consolidada por un mortero (pañete), otra por una constitución de soporte principal que es el bloque de tierra comprimida y una capa externa de mortero (pañete) Realizado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo con los valores de resistencia térmica de los materiales y los espesores de estos, se obtiene una Transmitancia térmica de 1,79 W/m²K.

TIPOLOGIA N° 1 MURO BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO PERFORADO (BTC)				
CAPAS	ESPESOR (m)	LAMBDA λ w/m	RESISTENCIA TERMICA K·m ² /W	COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" W/m ² K
Mortero/de 1800 kg/m ³	0,02	0,90	0,02	1,79
Bloque de tierra comprimido (BTC)	0,145	0,42	0,35	
Mortero/de 1800 kg/m ³	0,02	0,90	0,02	

Tabla 19. Tipología muro bloque de tierra comprimida.

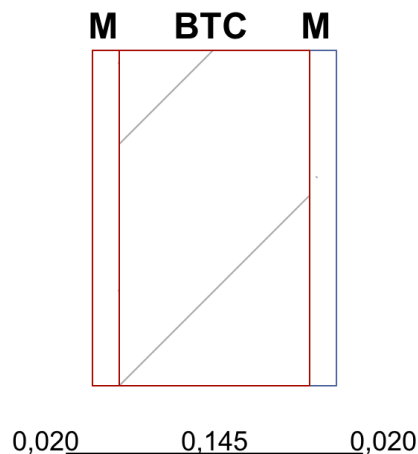


Figura 7. Sección muro bloque de tierra comprimida.

5.2.2. Muro en Panel de Aislamiento al Vacío VIP.

Para esta tipología de muro tiene una sola capas, con una constitución de soporte principal que es el Panel de Aislamiento al Vacío. Efectuado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales y los espesores de los mismos, se obtiene una Transmitancia térmica de 0,41 W/m²K.

TIPOLOGIA Nº 2 MURO Panel Aislamiento al Vacío VIP				
CAPAS	ESPESOR (m)	LAMBDA λ w/m	RESISTENCIA TERMICA K·m2/W	COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" W/m2K
Panel Aislamiento al Vacío	0,08	0,04	2,29	0,41

Tabla 20. Tipología muro panel de aislamiento al vacío.

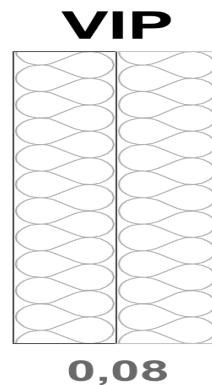


Figura 8. Sección muro panel de aislamiento al vacío.

5.2.3. Muro Compuesto.

Para la tipología de este muro está compuesta por cuatro capas, una interna consolidada por un bloque de arcilla, otra de aire, un aislante y una capa externa de bloque de arcilla. Efectuado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo con los valores de resistencia térmica de los materiales y los espesores de estos, se obtiene una Transmitancia térmica de 1,35 W/m2K.

TIPOLOGIA Nº 3 MURO COMPUESTO BLOQUE ARCILLA + AISLAMIENTO				
CAPAS	ESPESOR (m)	LAMBDA λ w/m	RESISTENCIA TERMICA K·m2/W	COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" W/m2K
Bloque de arcilla	0,12	0,65	0,18	1,35
aire	0,02	0,24	0,08	
Aislante	0,02	0,10	0,20	
Bloque de arcilla	0,12	0,65	0,18	

Tabla 21. Tipología muro compuesto, bloque de arcilla + aislamiento.

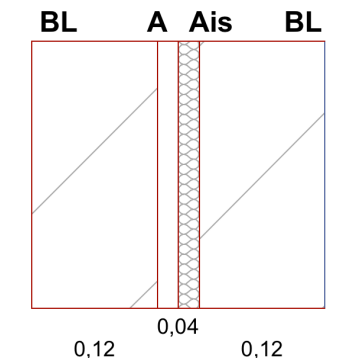


Figura 9. Sección muro compuesto, bloque de arcilla + aislamiento.

5.3. Comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas sociales de la ciudad de Tunja.

En este apartado analizaremos las características de las envolventes, cómo es el comportamiento térmico de acuerdo a la variabilidad del clima en la ciudad de Tunja. Para esto se describen algunas propiedades fisicotérmicas de los materiales, esto con el fin de diseñar debidamente el proyecto con los elementos constructivos de una edificación que se requiere, no solo de consideraciones estéticas, acústicas, estructurales o económicas, entre otras, sino también de consideraciones de eficiencia energética y térmicas. Las características termo-físicas de los materiales a utilizar para aumentar la carga térmica en los climas fríos o templados y lograr ambientes de confort térmico.

6. Simulación del comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas vis en la ciudad de Tunja con un enfoque de tecnologías limpias.

6.1 Definición de variables de simulación.

Para las todas las simulaciones se realizaron con un modelo tipo de apartamento, este consta de zona social, sala comedor, zona de servicios, cocina y patio de ropas y para la zona privada son 3 habitaciones con dos baños, con un área de 57,8 m². En estas simulaciones se validaron mediante el programa de Desing Builder, con cada uno de los materiales, capas, tipologías y valores U para obtener los resultados, con los cuales se evidencia cuáles son los que están o alcanzan a llegar al rango de confort térmico.

Otra de las variables que se tuvieron en cuenta fue los días y meses para llevar a cabo las simulaciones, observando el comportamiento térmico en cada una de ellas. Este tamizaje se realizó mediante los promedios de los últimos 30 años, encontrando el mes más caluroso y

dentro de ese mes el día, de igual manera se hizo para el mes y día más frío en la ciudad de Tunja, para el mes más caluroso se identificó Marzo y el día 17. El mes más frío Julio y día 6. Se evidencia que con las tipologías de construcción tradicionales que se están llevando a cabo, no se alcanza al rango de confort mínimo que está contenida en el decreto 0549 que está en el rango de confort térmico que es 21°C a 25°C.

Teniendo en cuenta la temperatura promedio de Tunja 13,4°C, y lo descrito por la norma, tenemos una diferencia de casi 10°C para llegar a la media, esto nos lleva a pensar en la importancia que tiene la envolvente para lograr el confort térmico, tiene que suplir esta necesidad de un delta de temperatura tan alto, aquí es donde adquiere importancia y validez esta investigación de comprobar y confirmar que con otra tipología de materiales de nuevas tecnologías limpias se logra el objetivo de brindar el mejoramiento en el comportamiento del confort térmico a las viviendas VIS en la ciudad de Tunja.

Por otra parte, es llegar con argumentos a los constructores para que se empiece a desarrollar los proyectos, con los criterios de sostenibilidad, desde sus 3 enfoques Eficiente, Equitativo y habitable. De llevarlos a otros escenarios de que es posible desde el punto de vista económico, cultural y comercial realizar este tipo de proyectos sostenibles que se describen a continuación.

6.2. Escenarios de simulación.

6.2.1 Bloque estructural.

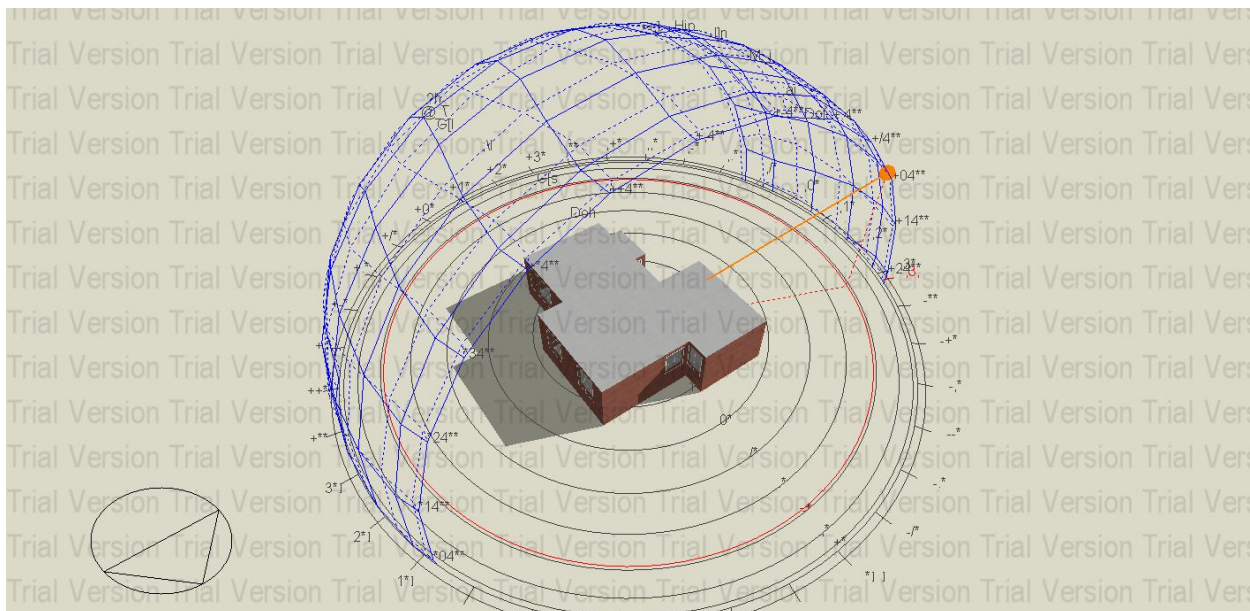


Figura 10. Modelo de simulación muro bloque estructural.

6.2.1.1 Mes más frío julio.

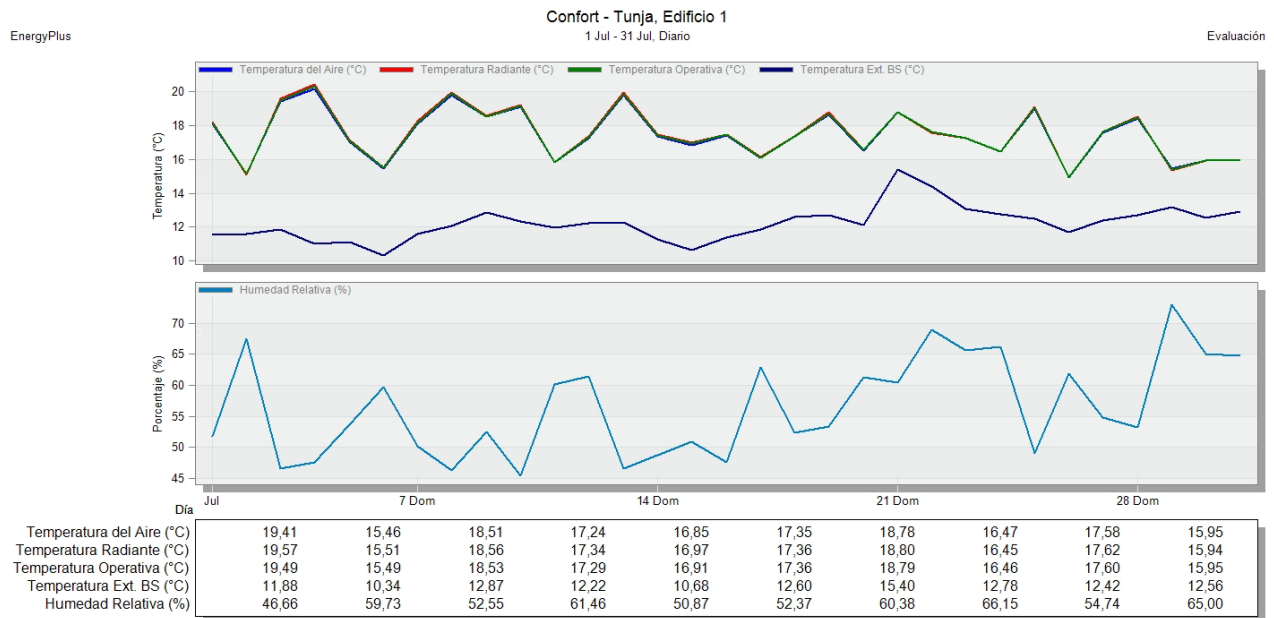


Figura 11. Resultados simulación mes más frío. Muro bloque estructural.

En esta simulación del bloque estructural hueco, se identifica que la temperatura operativa está en rango de oscilación de mínima 15,49°C y máxima de 19,49°C. Siendo el mes más frío julio, la variación es de alrededor de 4°C durante el mes; para la temperatura externa se observa una mínima de 10,34°C y una máxima de 15,40°C, con un delta de temperatura de 5°C en todo el mes, en promedio se reconoce una diferencia de 4°C del exterior al interior del modelo. La humedad relativa esta entre 46,6% y 73,4%, en promedio de 55% el cual es tiende a ser el ideal. Ver Figura 11.

6.2.1.2 Día más frío 6 de julio.

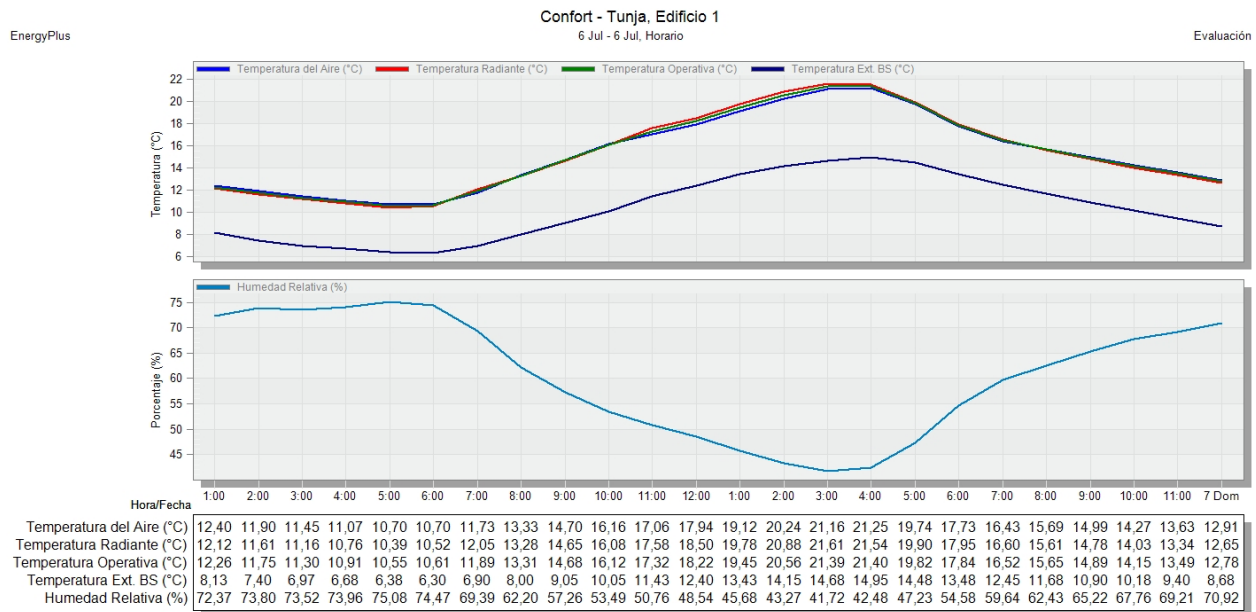


Figura 12. Resultados simulación día más frío. Muro bloque estructural.

Para el día más frío se presenta una temperatura operativa de máxima de 21,40°C a las 4 pm y una mínima 10,55°C durante las 5 am. En este día se determina una oscilación de 10,85°C, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 5 horas de las 1 pm a 5 pm. Las temperaturas externas están en 14,95°C y 6,30°C, con una variación de 8,65°C . Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 41,72% y 75,08%.

6.2.1.3 Mes más caluroso marzo.

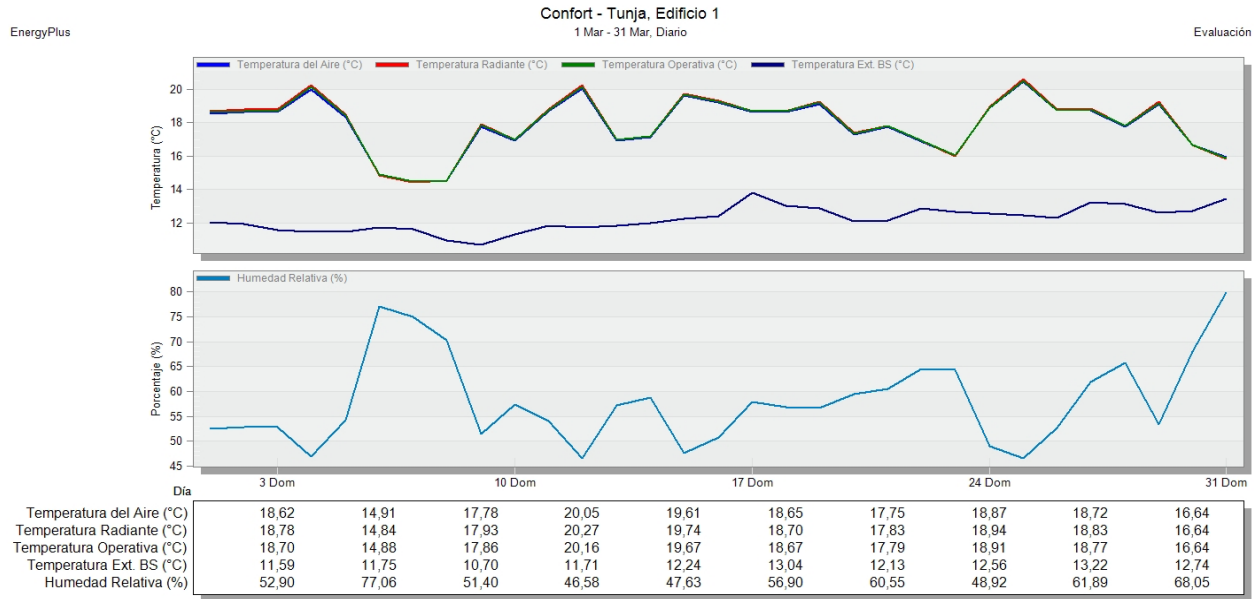


Figura 13. Resultados de simulación mes caluroso. Muro bloque estructural.

De acuerdo con la simulación térmica para el mes más caliente se observan temperaturas operativas de 14,88°C hasta 20,16°C, la diferencia es 5,28°C su comportamiento térmico no es tan alto. La temperatura exterior está en un rango de 10,70°C y 13,22°C en promedio. La humedad relativa está en 46,58% y un 68,05% aprox.

6.2.1.4 Día más caluroso 25 marzo.

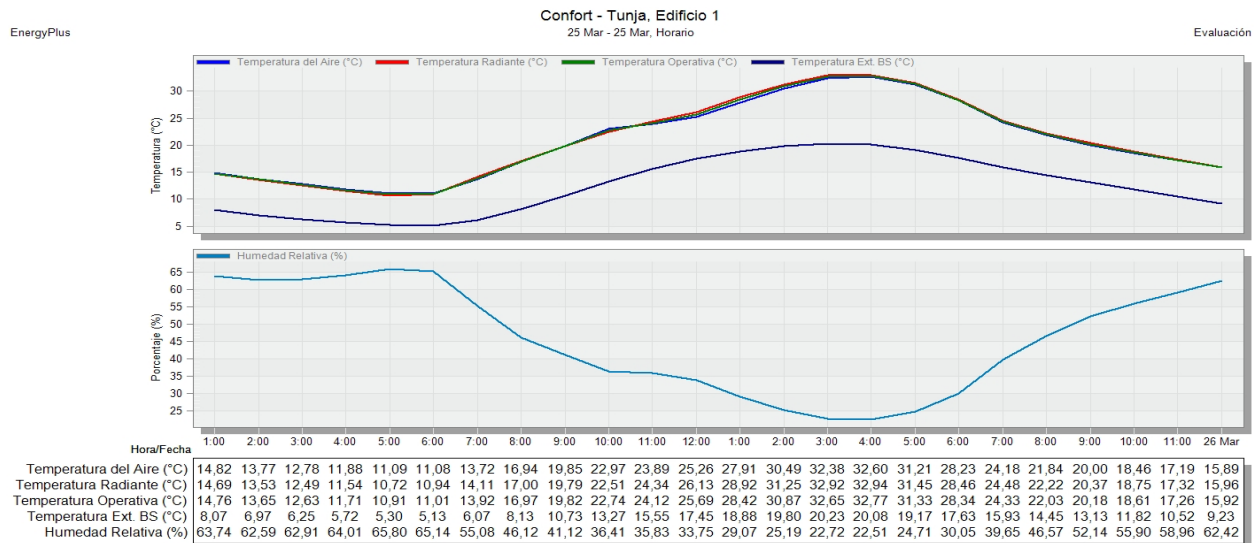


Figura 14. Resultados simulación día más caluroso. Muro bloque estructural.

En el día más cálido se presenta una temperatura operativa de máxima de 32,77°C a las 4 pm y una mínima 10,91°C durante las 5 am. En este día se determina una oscilación de 21,86°C, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 4 horas de las 9 am a 12 m. Las temperaturas externas están en 20,23°C y 5,13°C, con una variación de 15,1°C . Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 22,51% y 55,80%.

6.2.2 Sistema túnel con fachaleta.

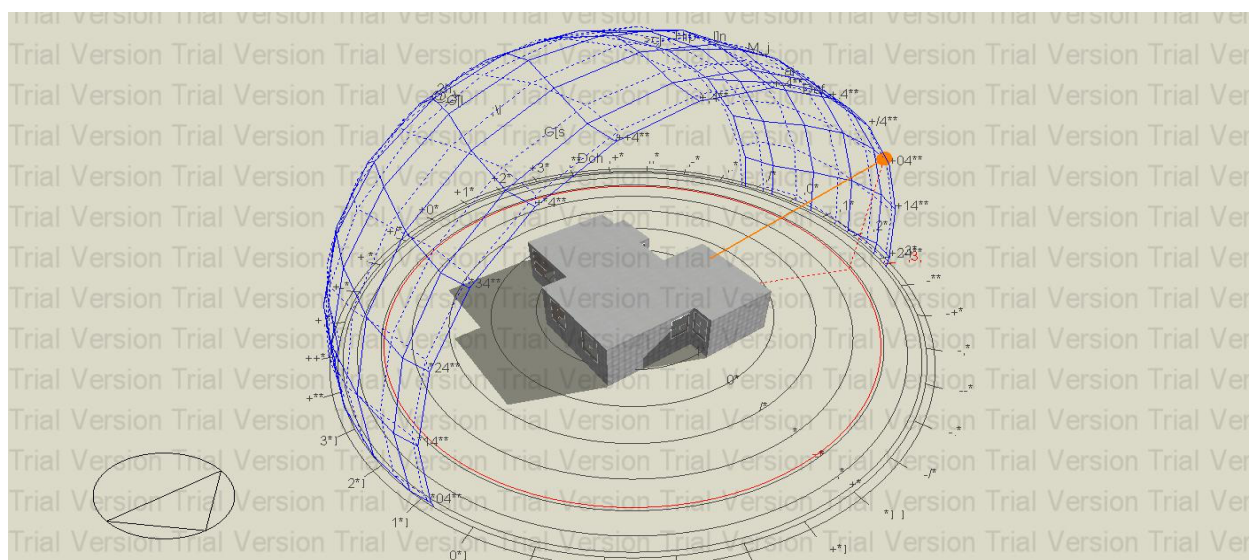


Figura 15. Modelo de simulación sistema túnel + fachaleta.

6.2.2.1 Mes más frio julio.

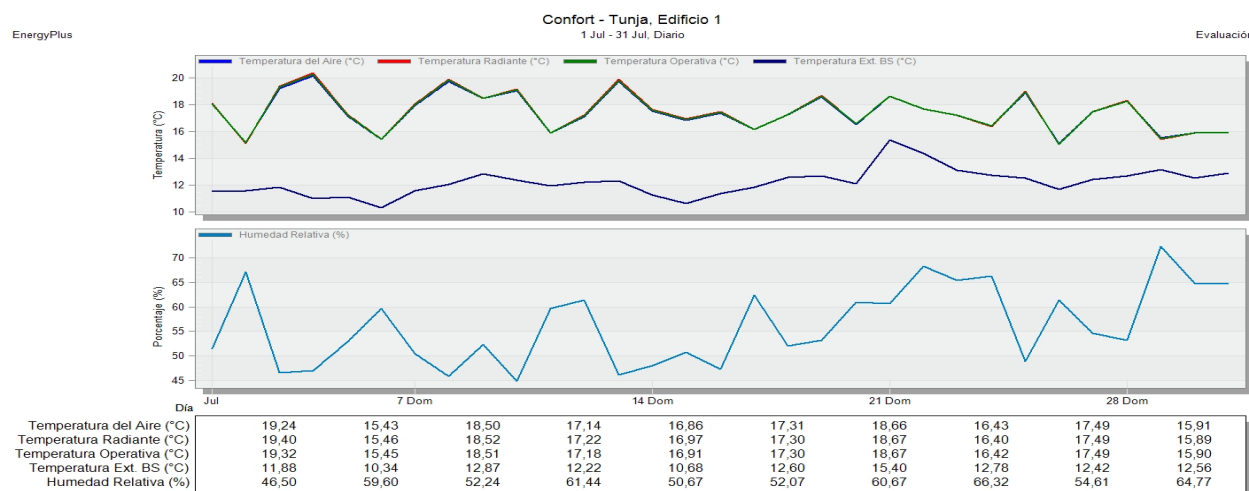


Figura 16. Resultados de simulación mes más frio. Muro sistema túnel + fachaleta.

En relación con la simulación se identifica que la temperatura operativa está en un rango de oscilación de mínima 15,45°C y máxima de 19,32°C. Siendo el mes más frío julio, la variación es de alrededor de 3,87°C durante el mes; para la temperatura externa se observa una mínima de 10,34°C y una máxima de 15,40°C, con un delta de temperatura de 5,06°C en todo el mes, en promedio se reconoce una diferencia de temperatura de 4°C del exterior al interior del modelo. La humedad relativa esta entre 46,50% y 66,32%, en promedio de 55% el cual es tiende a ser el ideal.

6.2.2.2. Día más frío 6 julio.

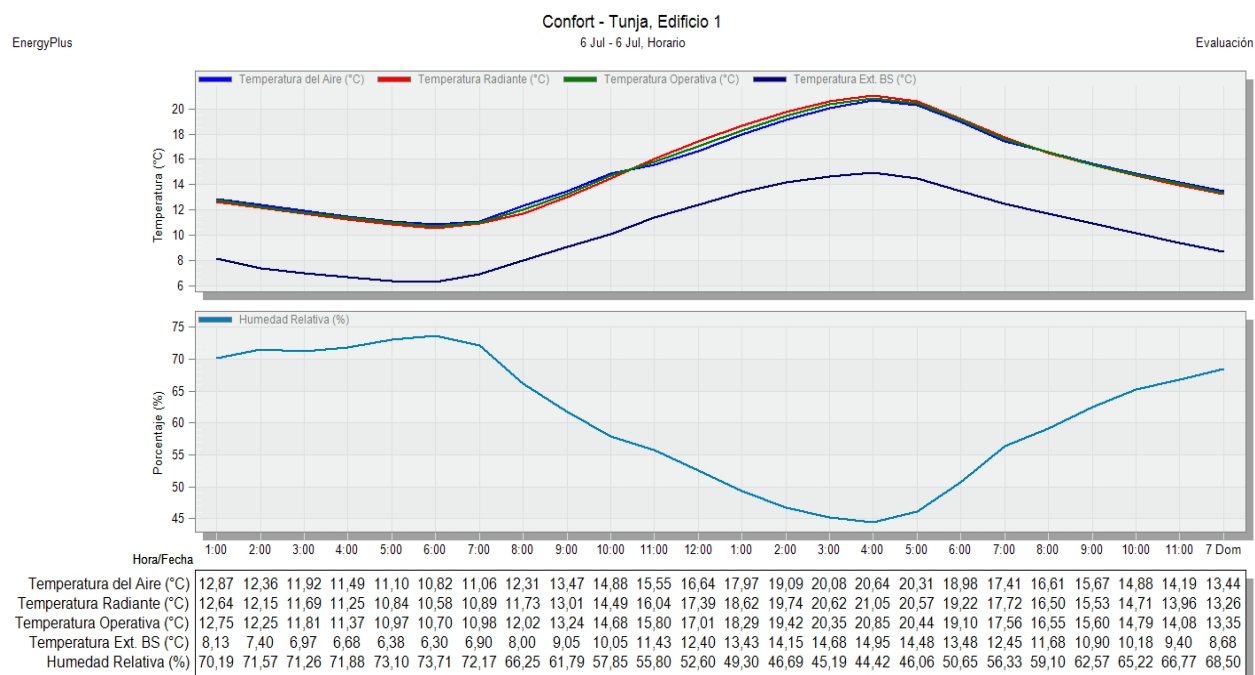


Figura 17. Resultados simulación día más frío. Muro sistema túnel + fachaleta.

Para el día más frío se presenta una temperatura operativa de máxima de 20,85°C a las 4 pm y una mínima 10,70°C durante las 6 am. En este día se determina una oscilación de 10,15°C, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 5 horas de las 2 pm a 6 pm. Las temperaturas externas están en 14,95°C y 6,30°C, con una variación de 8,65°C. Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 44,42% y 73,71%.

6.2.2.3 Mes más caluroso marzo.

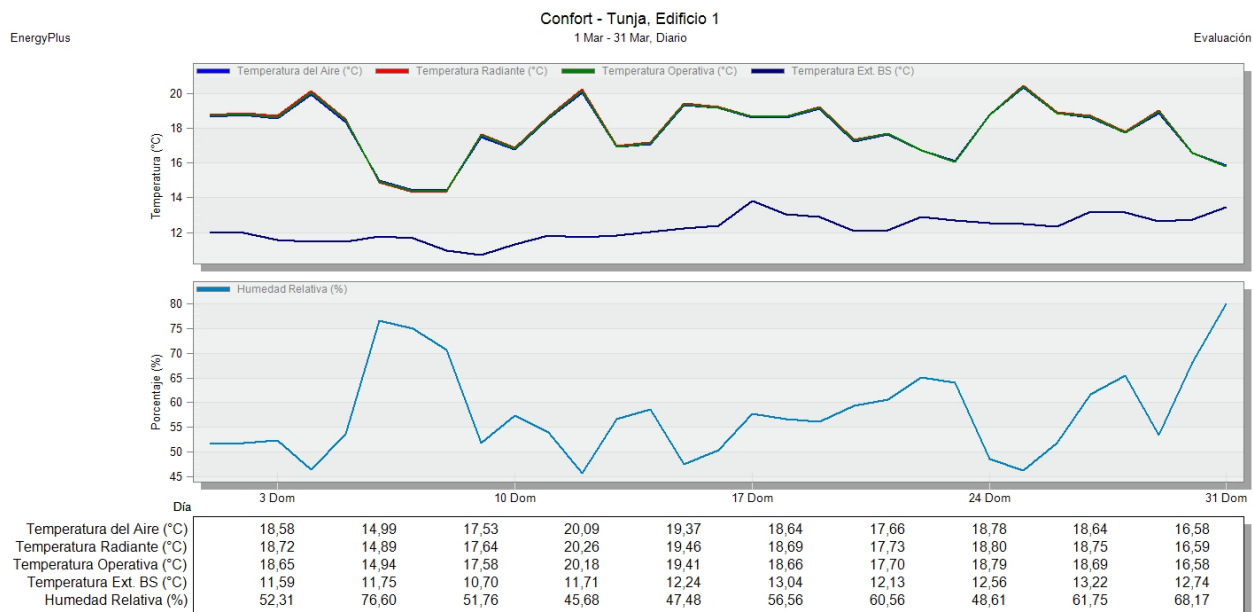


Figura 18. Resultados simulación día más frío. Muro sistema túnel + fachaleta.

Observemos como la simulación térmica para el mes más caliente marzo se observan temperaturas operativas de 14,94°C hasta 20,18°C, la diferencia es 5,24°C su comportamiento térmico no es tan alto. La temperatura exterior está en un rango de 10,70°C y 13,04°C en promedio. La humedad relativa está en 45,68% y un 68,17% aprox.

6.2.2.4 Día más caluroso 17 marzo.

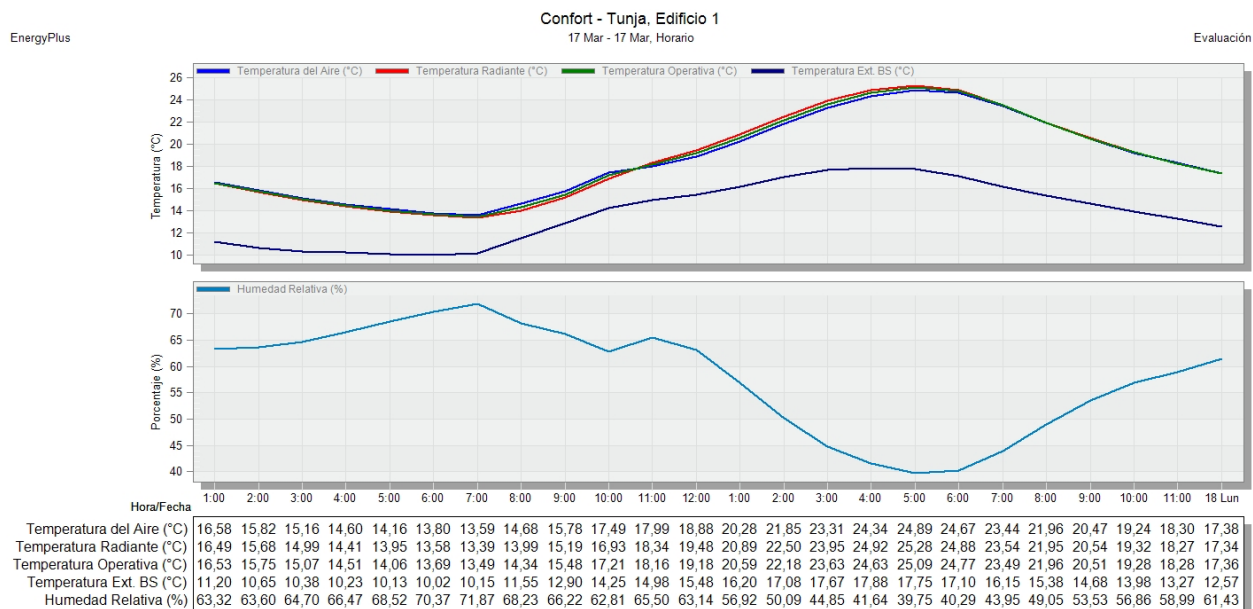


Figura 19. Resultados simulación mes más caluroso. Muro sistema túnel + fachaleta.

Para el día más cálido se presenta una temperatura operativa de máxima de 25,09°C a las 5 pm y una mínima 13,49°C durante las 7 am. En este día se determina una oscilación de 11,6°C, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 11 horas de las 12 m a 10 pm. Las temperaturas externas están en 17,88°C y 10,02°C, con una variación de 7,86°C . Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 39,75% y 71,87%.

6.2.3 Muro ladrillo macizo.

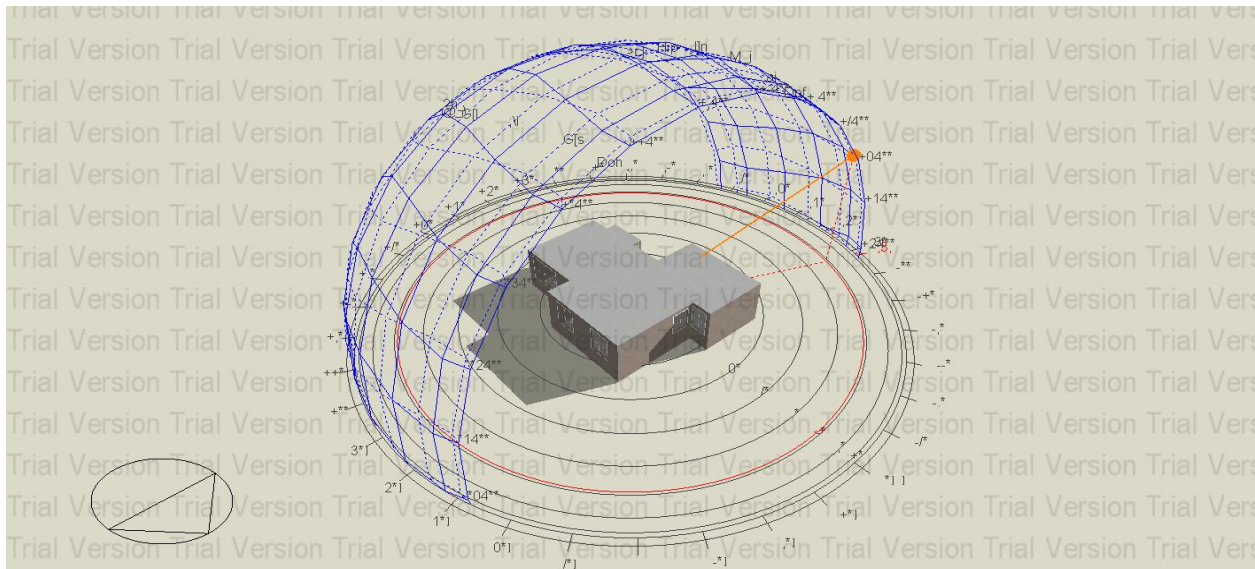


Figura 20. Modelo de simulación. Muro ladrillo macizo.

6.2.3.1 Mes más frío julio.

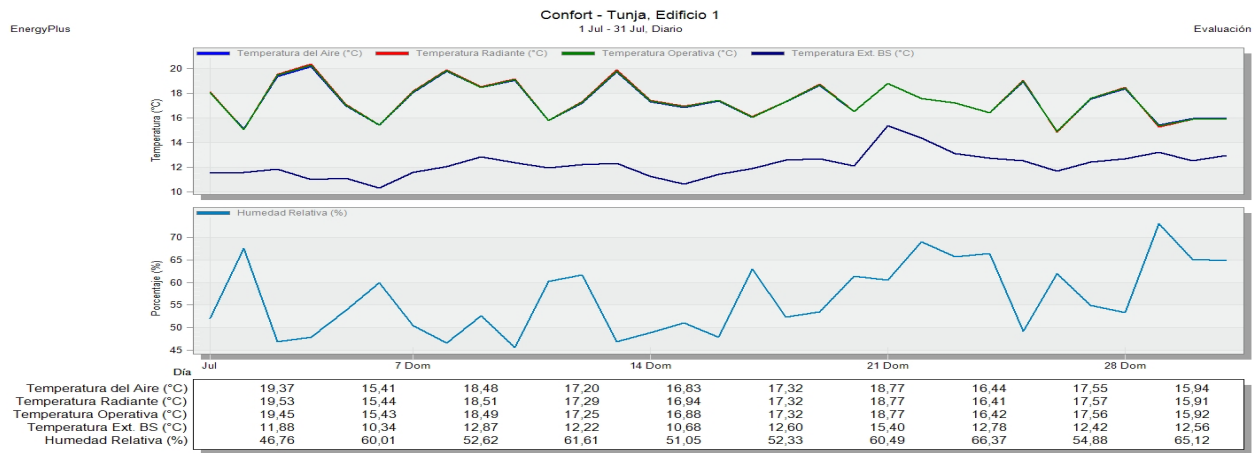


Figura 21. Resultados simulación mes as frío. Muro ladrillo macizo.

En relación con la simulación se identifica que la temperatura operativa está en un rango de oscilación de mínima 15,43°C y máxima de 19,45°C. Siendo el mes más frío julio, la variación es de alrededor de 4,02°C durante el mes; para la temperatura externa se observa una mínima de 10,34°C y una máxima de 15,40°C, con un delta de temperatura de 5,06°C en todo el mes, en promedio se reconoce una diferencia de temperatura de 4°C del exterior al interior del modelo. La humedad relativa esta entre 46,76% y 66,37%, en promedio de 55% el cual es tiende a ser el ideal.

6.2.3.2 Día más frío 6 julio.

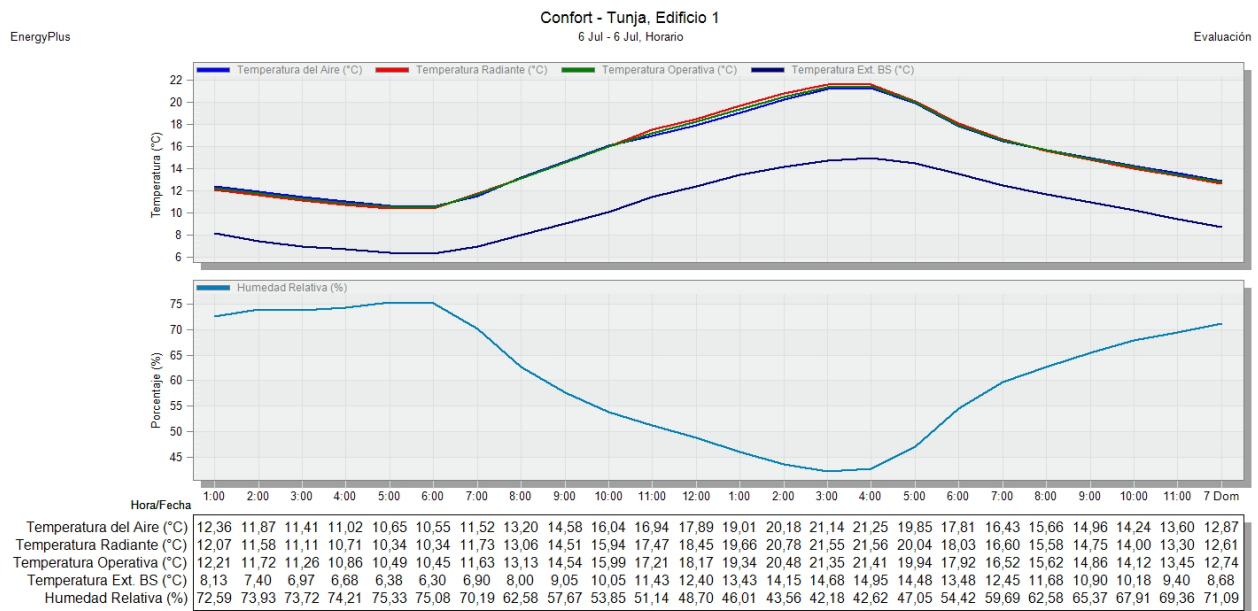


Figura 22. Resultados simulación día más frío. Muro ladrillo macizo.

Para el día más frío se presenta una temperatura operativa de máxima de 21,41°C a las 4 pm y una mínima 10,45°C durante las 6 am. En este día se determina una oscilación de 10,96°C, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 5 horas de las 1 pm a 5 pm. Las temperaturas externas están en 14,95°C y 6,30°C, con una variación de 8,65°C. Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 42,18% y 75,33%.

6.2.3.3 Mes más caluroso marzo.

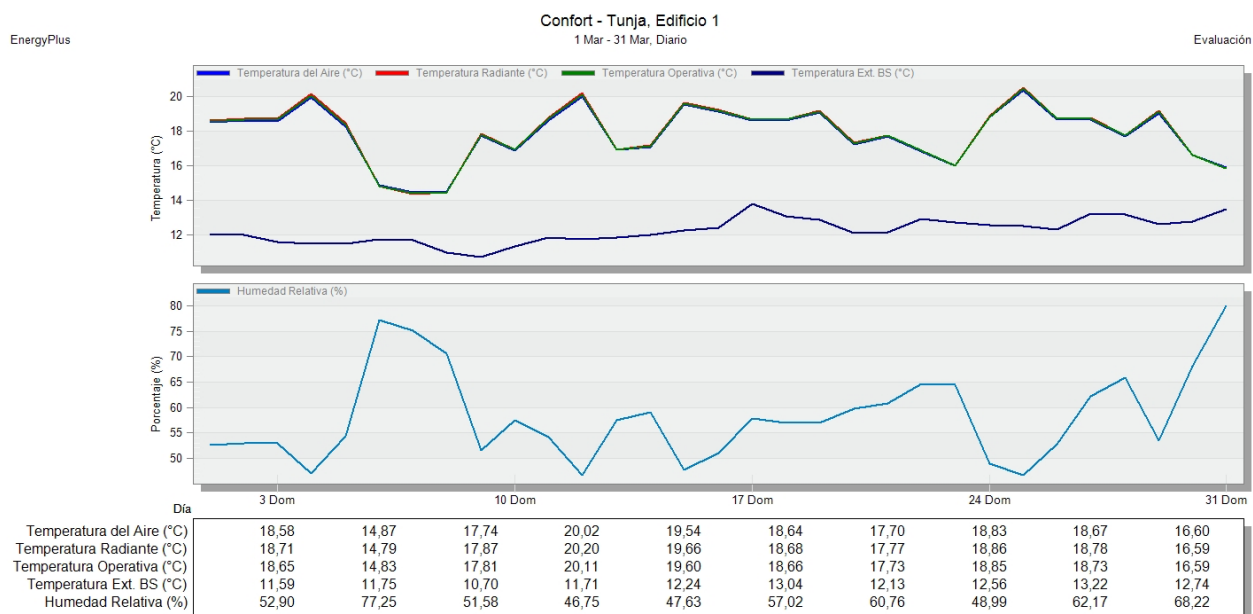


Figura 23. Resultados simulación mes más caluroso. Muro ladrillo macizo.

Observemos como la simulación térmica para el mes más caliente marzo se observan temperaturas operativas de 14,83°C hasta 20,11°C, la diferencia es 5,28°C su comportamiento térmico no es tan alto. La temperatura exterior está en un rango de 10,70°C y 13,04°C en promedio. La humedad relativa está en 46,75% y un 68,22% aprox.

6.2.3.4 Día mas caluroso 17 marzo.

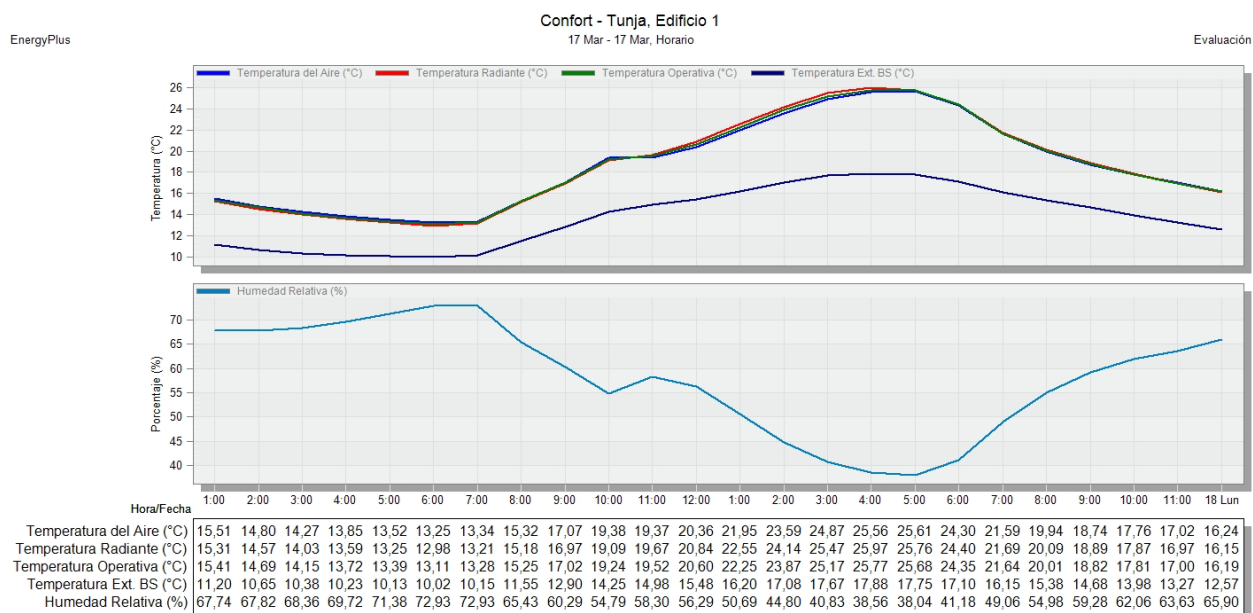


Figura 24. Resultados simulación día más caluroso. Muro ladrillo macizo.

Para el día más cálido se presenta una temperatura operativa de máxima de $25,77^{\circ}\text{C}$ a las 4 pm y una mínima $13,11^{\circ}\text{C}$ durante las 6 am. En este día se determina una oscilación de $12,66^{\circ}\text{C}$, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 11 horas de las 9 m a 8 pm. Las temperaturas externas están en $17,88^{\circ}\text{C}$ y $10,02^{\circ}\text{C}$, con una variación de $7,86^{\circ}\text{C}$. Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 38,04% y 72,93%.

6.2.4 Bloque de tierra comprimida BTC.

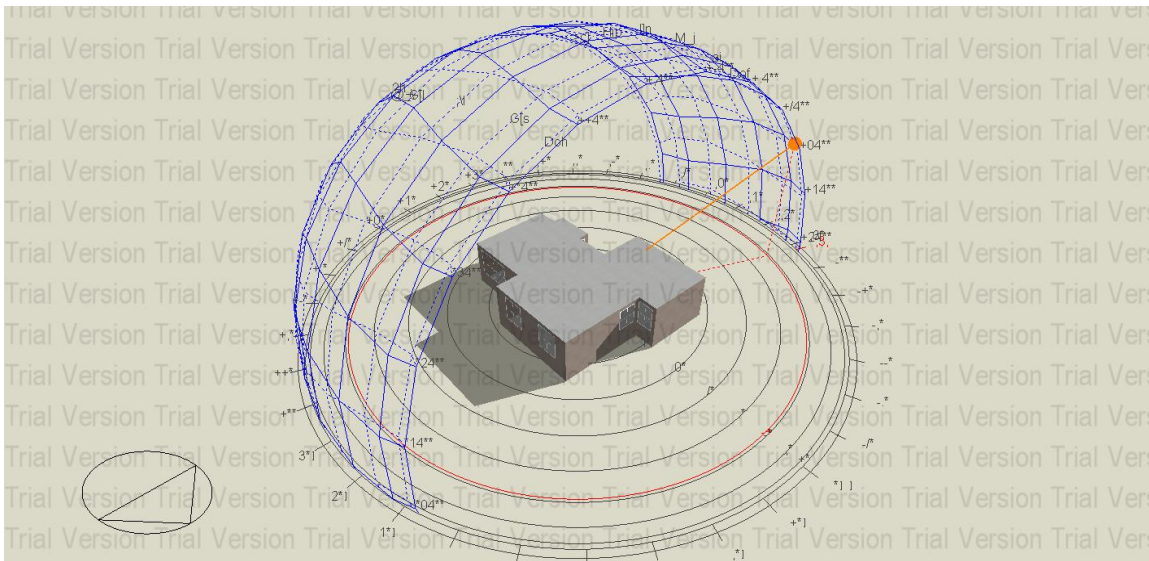


Figura 25. Modelo de simulación muro bloque de tierra comprimida.

6.2.4.1 Mes más frío julio.

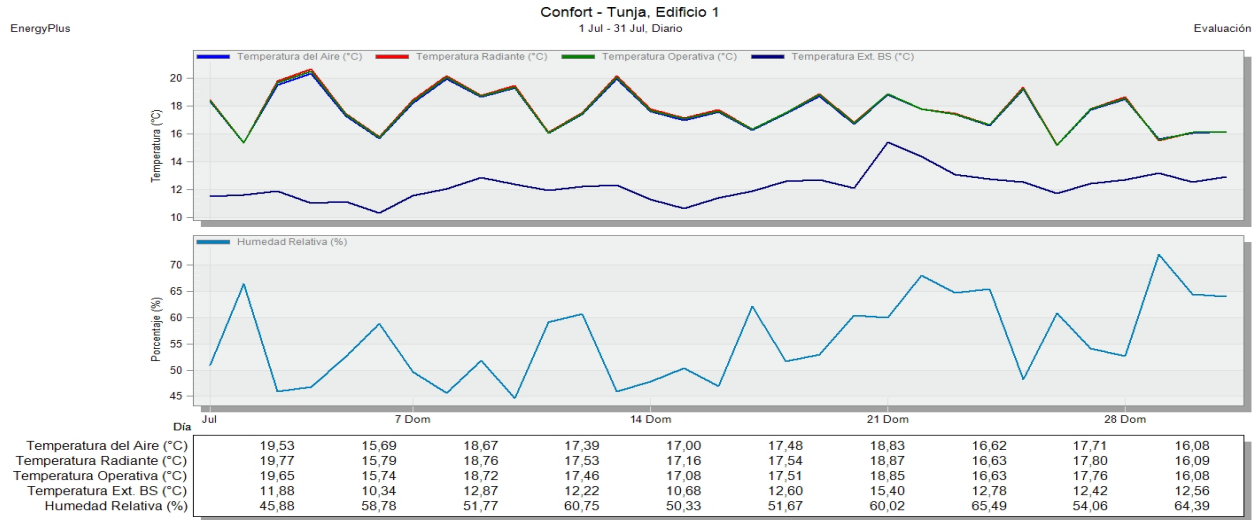


Figura 26. Resultados de simulación mes más frío. Muro bloque de tierra comprimida.

En relación con la simulación se identifica que la temperatura operativa está en un rango de oscilación de mínima 15,74°C y máxima de 19,65°C. Siendo el mes más frío julio, la variación es de alrededor de 3,91°C durante el mes; para la temperatura externa se observa una mínima de 10,34°C y una máxima de 15,40°C, con un delta de temperatura de 5,06°C en todo el mes, en promedio se reconoce una diferencia de temperatura de 4°C del exterior al interior del modelo. La humedad relativa esta entre 45,88% y 65,49%.

6.2.4.2 Día más frío 6 julio.

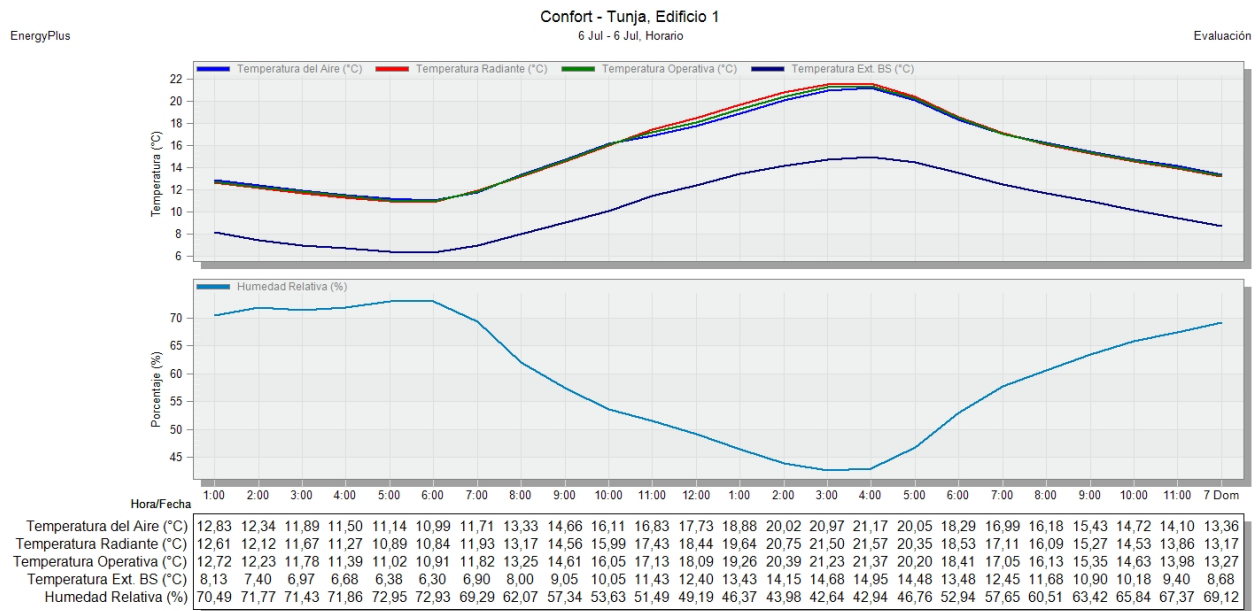


Figura 27. Resultados simulación día más frío. Muro bloque de tierra comprimida.

Para el día más frío se presenta una temperatura operativa de máxima de 21,37°C a las 4 pm y una mínima 10,91°C durante las 6 am. En este día se determina una oscilación de 10,46°C, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 5 horas de las 1 pm a 5 pm. Las temperaturas externas están en 14,95°C y 6,30°C, con una variación de 8,65°C . Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 42,64% y 72,95%.

6.2.4.3 Mes más caluroso marzo.

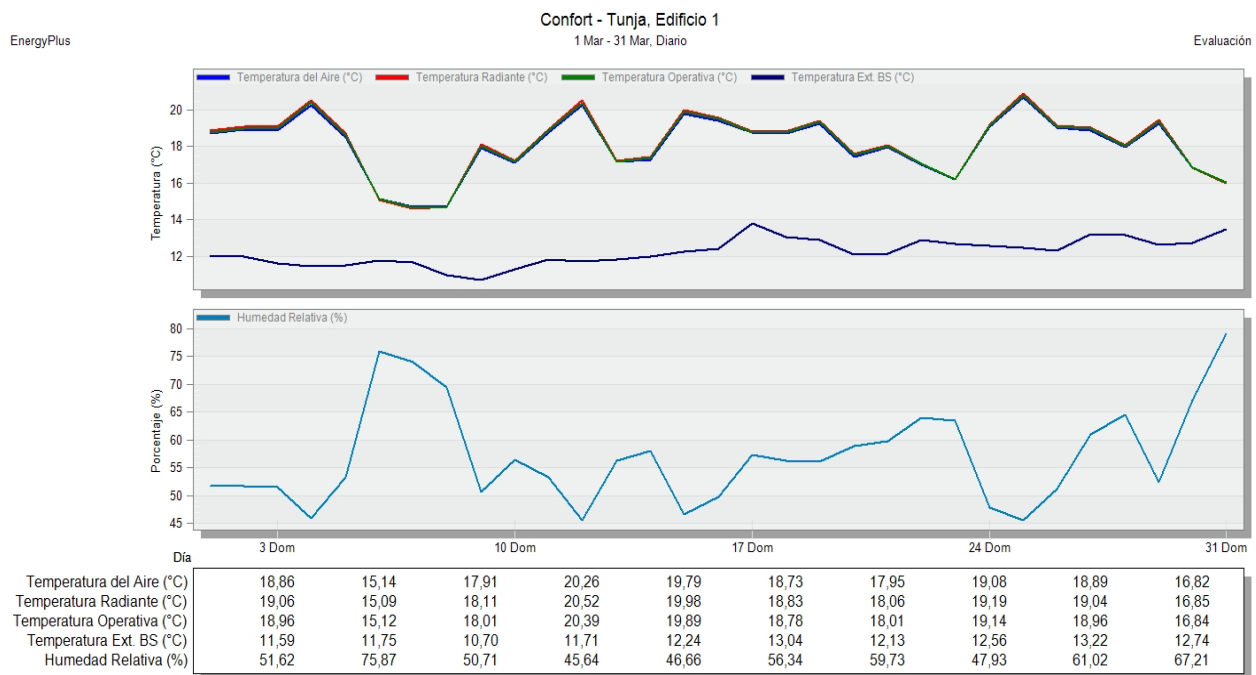


Figura 28. Resultados simulación mes más caluroso. Muro bloque de tierra comprimida.

Observemos como la simulación térmica para el mes más caliente marzo se observan temperaturas operativas de 15,12°C hasta 20,39°C, la diferencia es 5,27°C su comportamiento térmico no es tan alto. La temperatura exterior está en un rango de 10,70°C y 13,04°C en promedio. La humedad relativa está en 45,64% y un 67,21% aprox.

6.2.4.4 Día más caluroso 17 marzo.

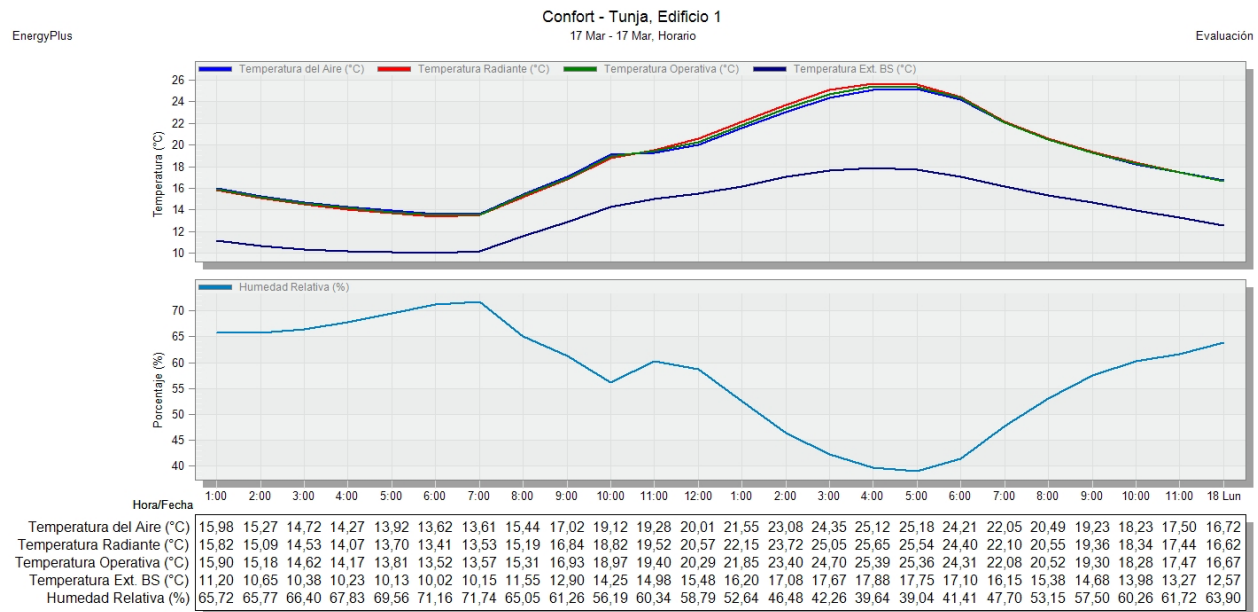


Figura 29. Resultados simulación día más caluroso. Muro bloque de tierra comprimida.

Para el día más cálido se presenta una temperatura operativa de máxima de 25,39°C a las 4 pm y una mínima 13,52°C durante las 6 am. En este día se determina una oscilación de 11,87°C, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 11 horas de las 11 m a 9 pm. Las temperaturas externas están en 17,88°C y 10,02°C, con una variación de 7,86°C . Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 39,04% y 71,74%.

6.2.5 Panel de aislamiento al vacío VIP.

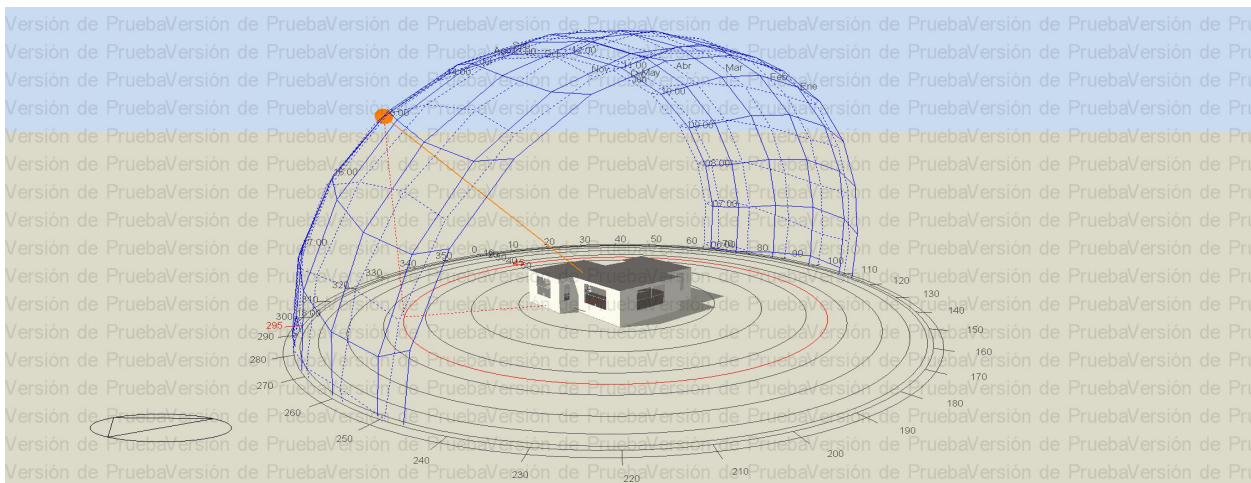


Figura 30. Modelo de simulación muro panel de aislamiento al vacío.

6.2.5.1 Mes más frío julio.

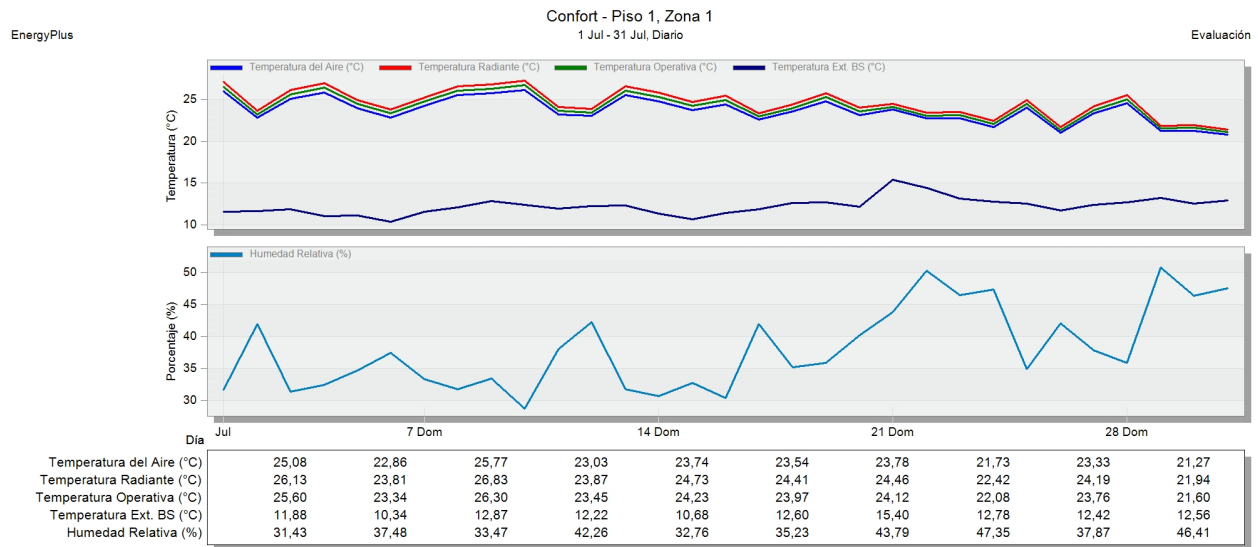


Figura 31. Resultados simulación mes más frío. Muro panel de aislamiento al vacío.

En relación con la simulación se identifica que la temperatura operativa está en un rango de oscilación de mínima 21,60°C y máxima de 26,30°C. Siendo el mes más frío julio, la variación es de alrededor de 4,7°C durante el mes; para la temperatura externa se observa una mínima de 10,34°C y una máxima de 15,40°C, con un delta de temperatura de 5,06°C en todo el mes, en promedio se reconoce una diferencia de temperatura de 4°C del exterior al interior del modelo. La humedad relativa esta entre 45,88% y 65,49%.

6.2.5.2 Día más frío 6 julio.

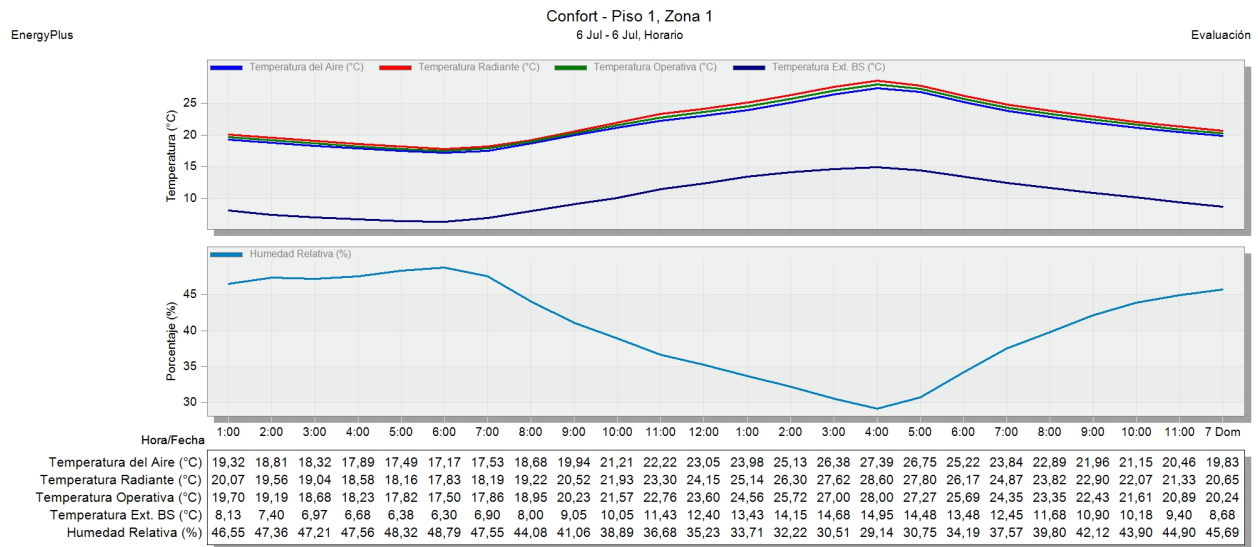


Figura 32. Resultados simulación días más frío. Muro panel de aislamiento al vacío.

Para el día más frío se presenta una temperatura operativa de máxima de 28°C a las 4 pm y una mínima 17,5°C durante las 6 am. En este día se determina una oscilación de 10,5°C, para un día es muy alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 5 horas de las 1 pm a 5 pm. Las temperaturas externas están en 14,95°C y 6,30°C, con una variación de 8,65°C. Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 29,14% y 48,79%.

6.2.5.3 Mes más caluroso marzo.

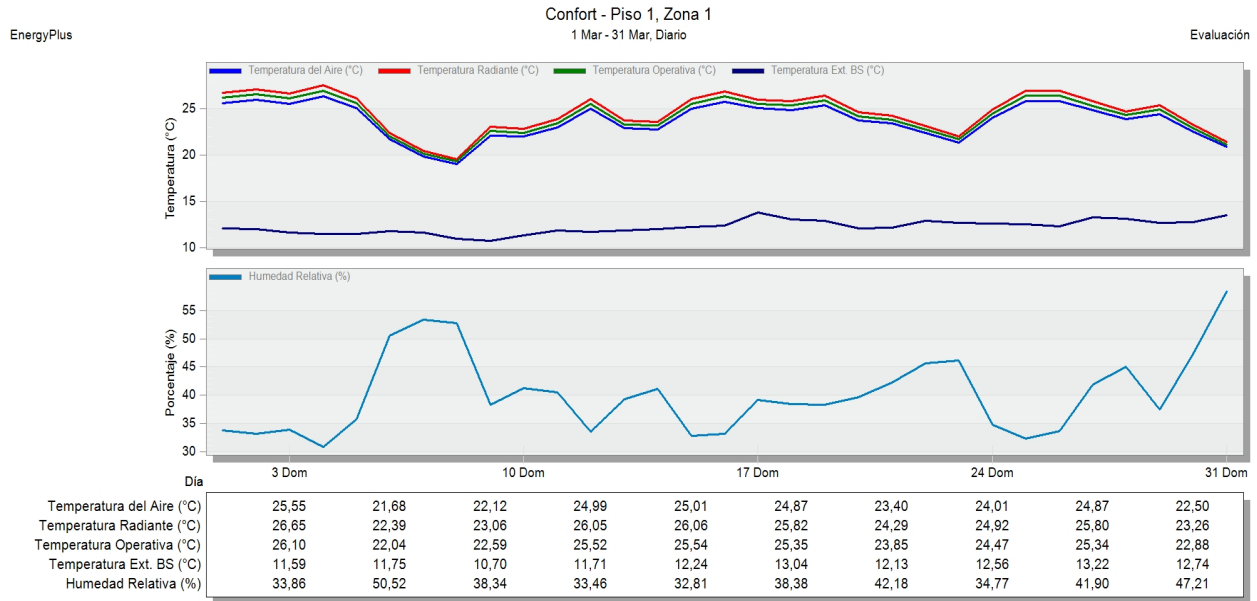


Figura 33. Resultados simulación mes más caluroso. Muro panel de aislamiento al vacío.

Observemos como la simulación térmica para el mes más caliente marzo se observan temperaturas operativas de 22,04°C hasta 26,10°C, la diferencia es 4,06°C su comportamiento térmico no es tan alto. La temperatura exterior está en un rango de 10,70°C y 13,22°C en promedio. La humedad relativa está en 32,81% y un 50,52% aprox.

6.2.5.4 Día más caluroso 17 marzo.

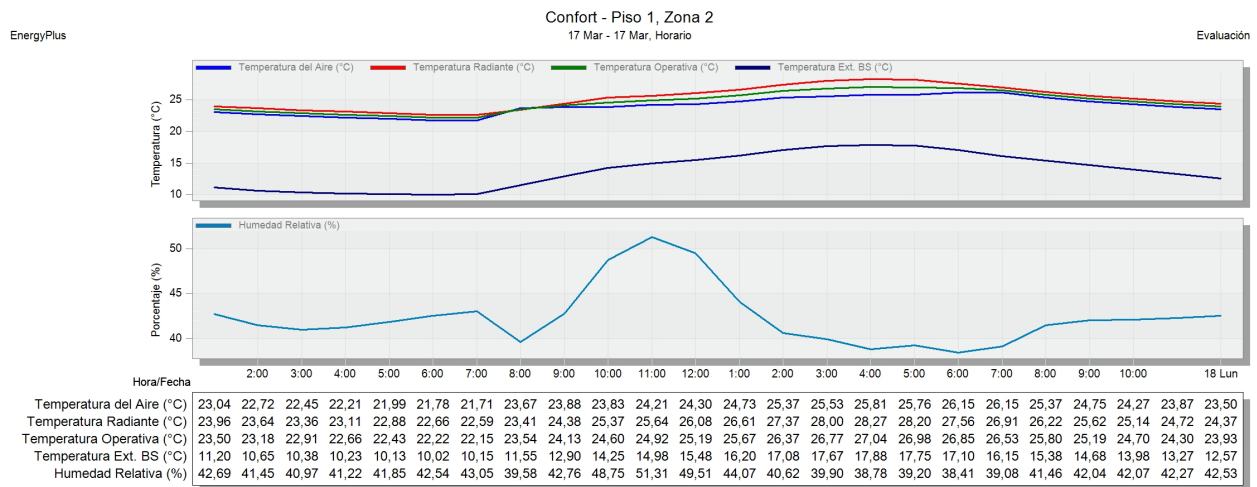


Figura 34. Resultados simulación día más caluroso. Muro panel de aislamiento al vacío.

Para el día más cálido se presenta una temperatura operativa de máxima de $27,04^{\circ}\text{C}$ a las 4 pm y una mínima $22,15^{\circ}\text{C}$ durante las 7 am. En este día se determina una oscilación de $4,89^{\circ}\text{C}$, para un día no es alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 22 horas, 2 horas donde se sube la temperatura alrededor de $1,5^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas externas están en $17,88^{\circ}\text{C}$ y $10,02^{\circ}\text{C}$, con una variación de $7,86^{\circ}\text{C}$. Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 38,78% y 51,31%.

6.2.6 Muro compuesto.

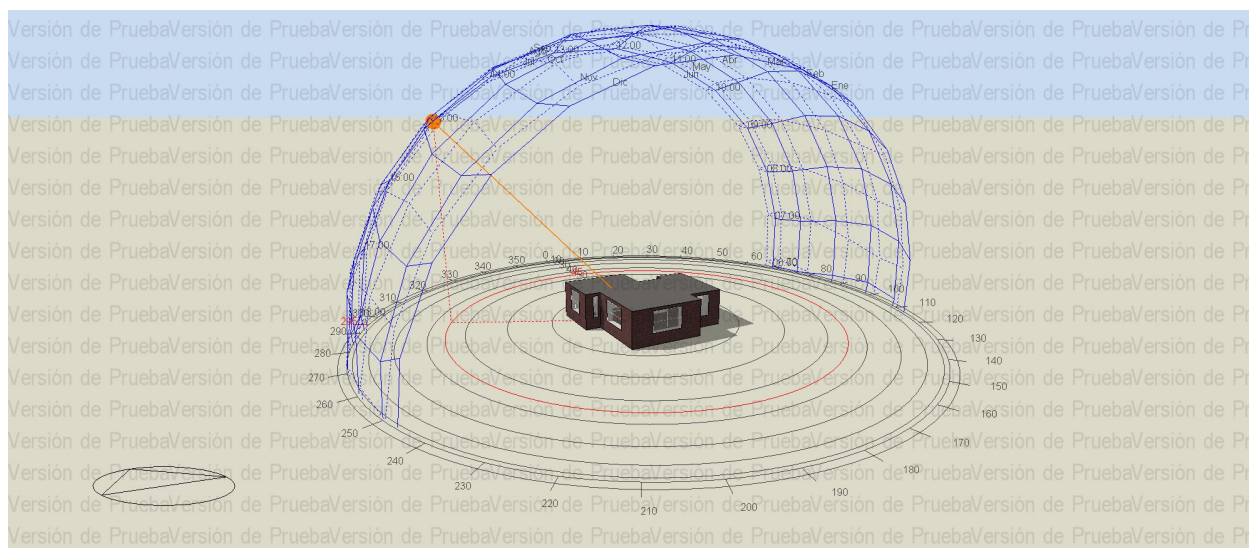


Figura 35. Modelo de simulación muro compuesto bloque de arcilla + aislamiento

6.2.6.1 Mes más frío julio.

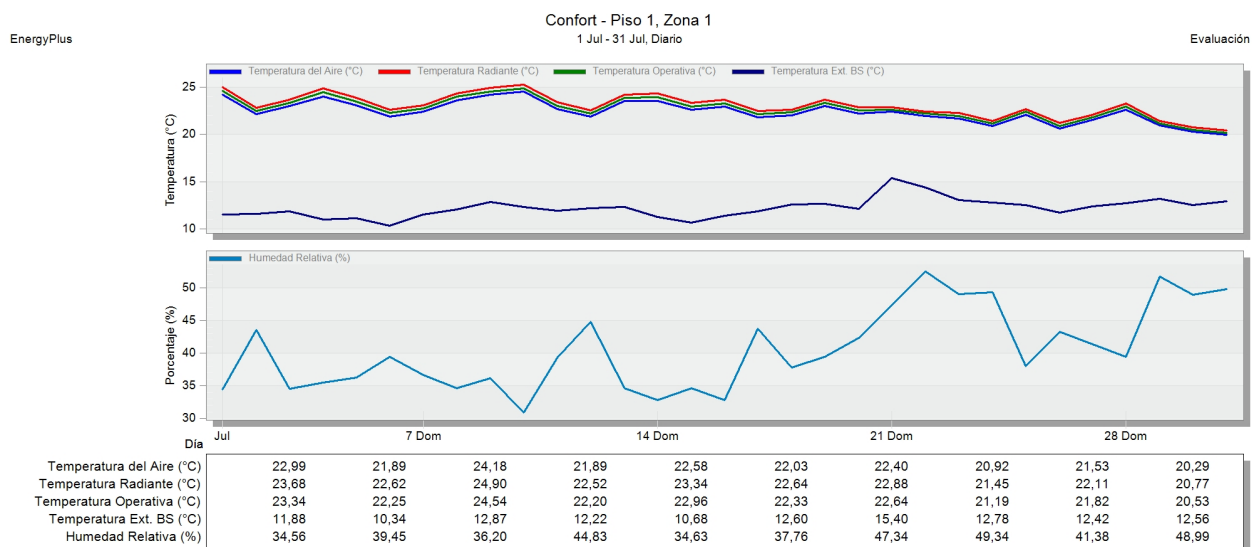


Figura 36. Resultados simulación mes más frío. Muro compuesto bloques de arcilla + aislamiento.

En relación con la simulación se identifica que la temperatura operativa está en un rango de oscilación de mínima 20,53°C y máxima de 24,54°C. Siendo el mes más frío julio, la variación es de alrededor de 4,01°C durante el mes; para la temperatura externa se observa una mínima de 10,34°C y una máxima de 15,40°C, con un delta de temperatura de 5,06°C en todo el mes, en promedio se reconoce una diferencia de temperatura de 4°C del exterior al interior del modelo. La humedad relativa esta entre 34,56% y 49,34%.

6.2.6.2 Día más frío 6 julio.

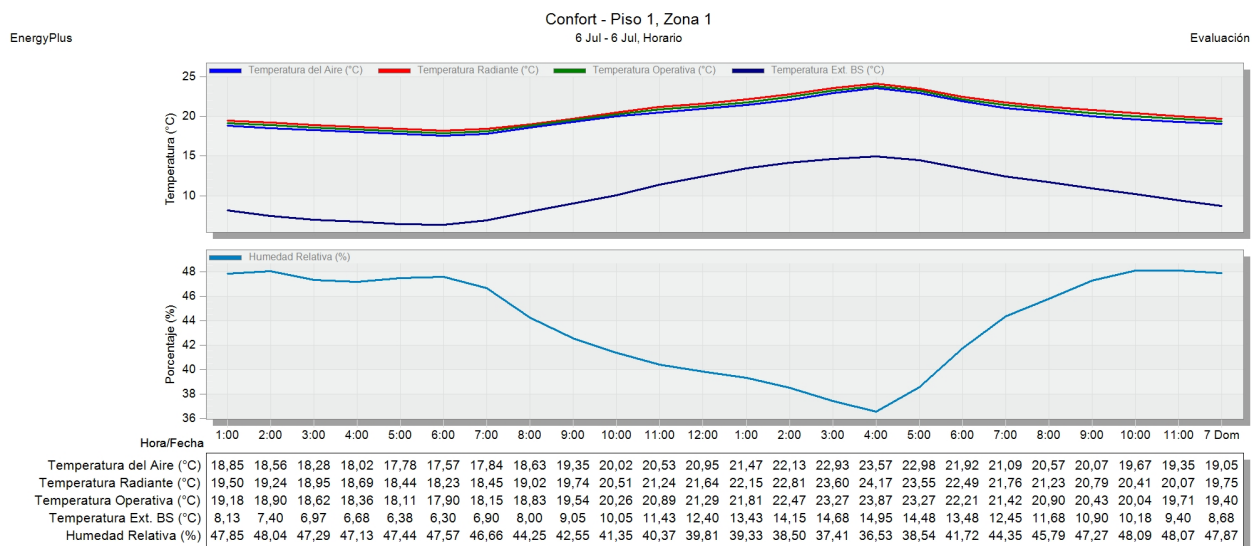


Figura 37. Resultados simulación día as frío. Muro compuesto bloques de arcilla + aislamiento.

Para el día más frío se presenta una temperatura operativa de máxima de 23,87°C a las 4 pm y una mínima 17,90°C durante las 6 am. En este día se determina una oscilación de 5,97°C, para un día no es alta esta oscilación. Se observan de acuerdo con la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 17 horas y 5 horas por debajo del rango de confort. Las temperaturas externas están en 14,95°C y 6,30°C, con una variación de 8,65°C . Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 36,53% y 48,09%.

6.2.6.3 Mes más caluroso marzo.

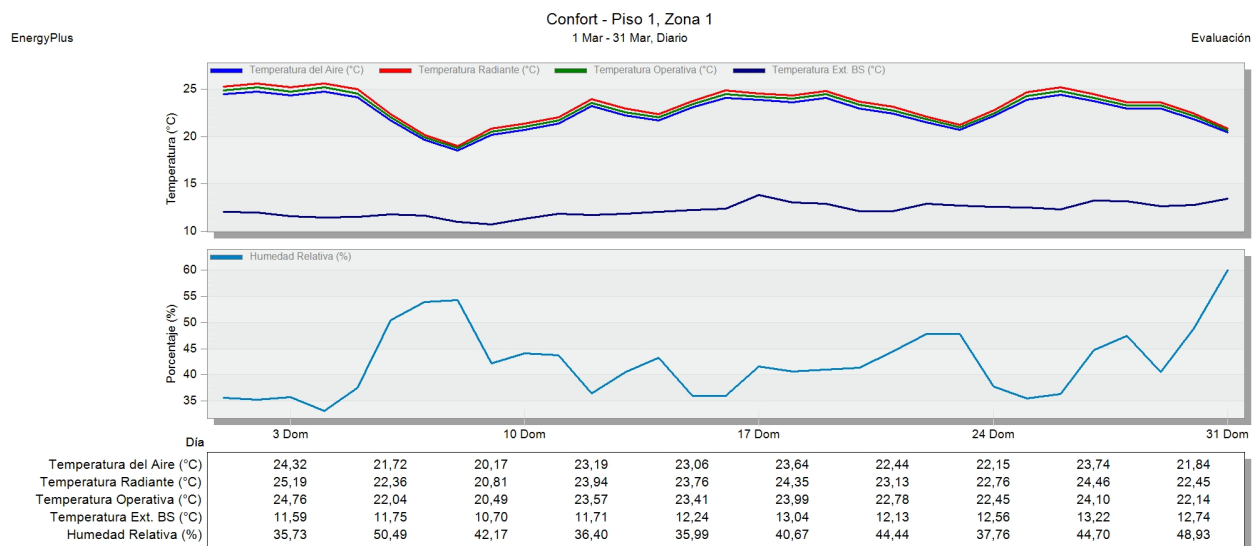


Figura 38. Resultados simulación mes más caluroso. Muro compuesto bloques de arcilla + aislamiento.

Observemos como la simulación térmica para el mes más caliente marzo se observan temperaturas operativas de 20,49°C hasta 24,76°C, la diferencia es 4,22°C su comportamiento térmico no es tan alto. La temperatura exterior está en un rango de 10,70°C y 13,22°C en promedio. La humedad relativa está en 35,73% y un 50,49% aprox.

6.2.6.4 Día más caluroso 17 marzo.

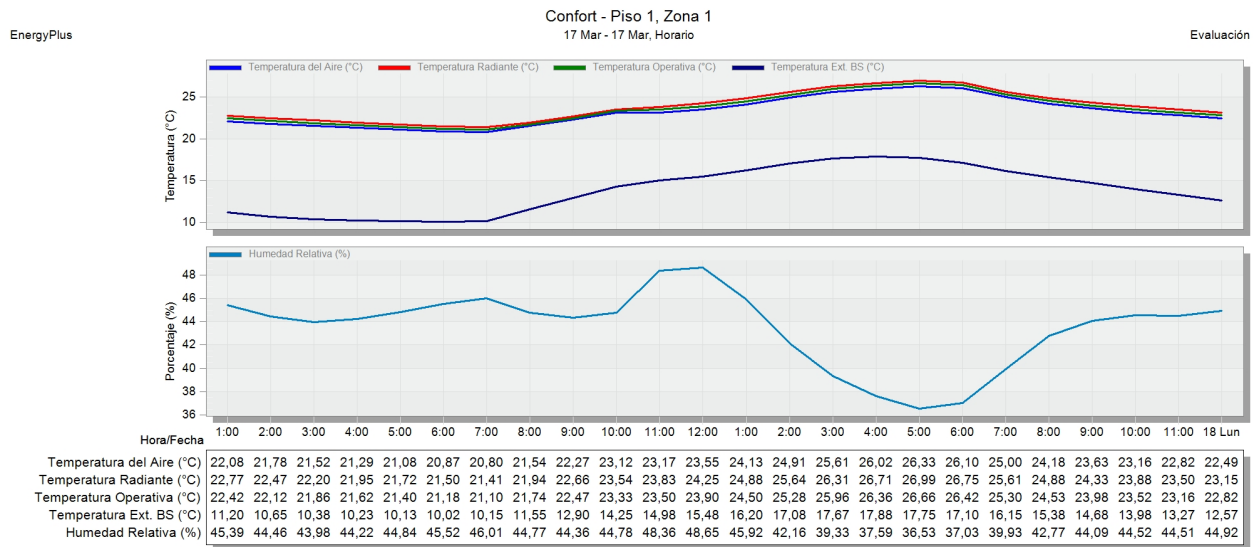


Figura 39. Resultados simulación día más caluroso. Muro compuesto bloques de arcilla + aislamiento.

Para el día más cálido se presenta una temperatura operativa de máxima de 26,66°C a las 5 pm y una mínima 21,10°C durante las 7 am. En este día se determina una oscilación de 5,56°C, para un día no es alta esta oscilación. Se observan de acuerdo a la norma nacional que llega al confort térmico alrededor de 23 horas, 1 horas donde se sube la temperatura alrededor de 1°C. Las temperaturas externas están en 17,88°C y 10,02°C, con una variación de 7,86°C . Se puede determinar que hay más variabilidad térmica dentro de la vivienda que en la temperatura exterior. La humedad relativa está en 36,53% y 48,65%.

6.3 Análisis de resultados.

A continuación se describen los resultados de la investigación, para ello se realizara el análisis de los resultados por medio de tablas síntesis.

6.3.1 Resultados de las propiedades de transmitancia térmica.

En la tabla 22 vemos las diferentes propiedades fisicotérmicas para envolventes de los materiales de fachada, propuestas y tradicionales. De acuerdo al valor U se identifica que los mejores materiales son los propuestos a partir de tecnologías limpias. En la tabla se observa que el material de mejor desempeño es el VIP con un $U = 0,41 \text{ W/m}^2$., el segundo lugar se encuentra el muro compuesto con un $U = 1,35 \text{ w/m}^2$ y por último el BTC con un $U = 1,53 \text{ W/m}^2$. Los muros de tecnologías tradicionales se encuentran fuera del rango del rango máximo requerido tanto por las normas nacionales como internacionales ($1,20 \text{ W/m}^2$). Lo que nos permite inferir que la mejor envolvente para la fachada en términos eficiencia, de transmitancia térmica es la VIP.



ANANLISIS DE PROPIEDADES DE TRANSMITANCIA TERMICA				
TIPO	ESPESOR (m)	LAMBDA λ w/m	RESISTENCIA TERMICA K·m2/W	COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" W/m2K
BE	0,14	0,78	0,18	2,86
SIT	0,13	0,77	0,17	2,95
MLM	0,16	0,88	0,18	2,84
BTC	0,17	0,44	0,39	1,79
VIP	0,10	0,04	2,86	0,33
MC	0,28	0,49	0,57	1,35

BE: BLOQUE ESTRUCTURAL
SIT: SISTEMA INDUSTRIALIZADO TUNEL
MLM: MURO LADRILLO MACIZO
BTC: BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA
VIP: PANEL DE AISLAMIENTO AL VACIO
MC: MURO COMPUESTO

Tabla 22. Análisis propiedades de transmitancia térmica.

6.3.2 Resultados de confort térmico en el más frío y día más caluroso.

Para la tabla de confort térmico se logra observar que el mejor desempeño en cuanto a la envolvente(fachada) en horas de confort es la del muro compuesto, tanto como para los días más fríos y los mas calientes, la oscilación en su temperatura llega a los 6°C, esto respecto a las demás que tienen 10°C y 11°C de oscilación. De este análisis se determina que el material tiene muy pocas pérdidas de energía durante la noche donde la temperatura promedio externa llega a 6,3°C. Los demás materiales de tecnologías limpias son muy parecidos en su variabilidad térmica. En los días más calurosos la envolvente del VIP tiene un desempeño óptimo ya que su oscilación es de casi 5°C y llegando al confort térmico de 22 días. Sin embargo, una desventaja de este material es que tiene según las simulaciones realizadas se presenta acumulación de energía interna.

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DÍA FRÍO										
TIPO	T. Max °C	T.Min °C	Var. T °C	T.Ext max °C	Dif.T Max °C	T.Ext min °C	Dif.T Min °C	Hum. Relt %	h/comfort	h/discomfort
BTC	21,4	10,9	10,5	15,0	6,4	6,3	4,6	57,8	10,0	14,0
VIP	28,0	17,5	10,5	15,0	13,1	6,3	11,2	39,0	12,0	12,0
MC	23,9	17,9	6,0	15,0	8,9	6,3	11,6	42,4	17,0	7,0
BE	21,4	10,6	10,9	15,0	6,5	6,3	4,3	58,4	5,0	19,0
SIT	20,9	10,7	10,2	15,0	5,9	6,3	4,4	59,1	5,0	19,0
MLM	21,4	10,5	11,0	15,0	6,5	6,3	4,2	58,8	5,0	19,0

ANALISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DIA CALUROSO										
TIPO	T. Max °C	T.Min °C	Var. T °C	T.Ext max °C	Dif.T Max °C	T.Ext min °C	Dif.T Min °C	Hum. Relt %	h/comfort	h/discomfort
BTC	25,4	16,5	8,9	17,0	8,4	10,0	6,5	55,4	15,0	9,0
VIP	27,0	22,2	4,9	17,0	10,0	10,0	12,1	45,0	22,0	2,0
MC	26,7	21,1	5,6	17,0	9,7	10,0	11,1	42,6	23,0	1,0
BE	32,8	10,9	21,9	17,0	15,8	10,0	0,9	39,2	4,0	20,0
SIT	25,1	13,5	11,6	17,0	8,1	10,0	3,5	55,8	11,0	13,0
MLM	25,8	13,1	12,7	17,0	8,8	10,0	3,1	55,5	11,0	13,0

BTC: BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA

VIP: PANEL DE AISLAMIENTO AL VACIO

MC: MURO COMPUESTO

BE: BLOQUE ESTRUCTURAL

SIT: SISTEMA INDUSTRIALIZADO TUNEL

MLM: MURO LADRILLO MACIZO

Tabla 23. Análisis comparativo del comportamiento térmico día frío y día caluroso.

6.3.3 Resultados comparativos de ventajas y desventajas de las envolventes aplicada a vivienda

VIS.

De acuerdo a los datos suministrados por las fichas técnicas se observa que la mejor envolvente con mayores ventajas es el BTC en términos generales, se evidencia que los materiales de tecnologías limpias tienen mayores ventajas que los materiales con tecnologías tradicionales, entre los materiales de tecnologías limpias se destaca el BTC y VIP, este último material es el que tiene las mejores ventajas en su desempeño.

ANANLISIS COMPARATIVO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS							
TIPO	AISLAMIENTO TERMICO	AISLAMIENTO ACUSTICO	RENOVABLE	RECICLABLE	REUTILIZAR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
BTC	✓	✓	✓	✓	✓	SISTEMA INDUSTRIALIZADO, RENDIMIENTO PROMEDIO Y POSIBILIDAD DE PRODUCCION LOCAL	MENOR TIEMPO DE CONFORT PARA CLIMAS FRIOS,NO ESTA COMERCIALIZADO EN EL MERCADO DE TUNJA, SU COEFICIENTE DE TRANSMISION TERMICA NO ES BAJO
VIP	✓	✓	✓	✓	✓	SISTEMA INDUSTRIALIZADO, ALTO RENDIMIENTO Y DE PRODUCCION EXTERNA	NO COMERCIALIZADO, HAY QUE IMPORTARLO, MATERIAL COSTOSO, SE DESCONOCE VIDA UTIL
MC	✓	✓	✗	✗	✗	SISTEMA INDUSTRIALIZADO, DE RENDIMIENTO PROMEDIO Y PRODUCCIÓN LOCAL Y EXTERNA	NO ES VIABLE EN EL MERCADO COLOMBIANO, MUROS MULTICAPAS, INCREMENTO EN AREA Y COSTO,
BE	✗	✗	✗	✗	✗	SISTEMA INDUSTRIALIZADO, RENDIMIENTO PROMEDIO, PRODUCCION LOCAL	ALTA EMISION DE CO2, FUERA DEL CONFORT TERMICO, SU VARIABILIDAD TERMICA ES ALTA.
SIT	✗	✗	✗	✗	✗	SISTEMA INDUSTRIALIZADO, RENDIMIENTO ALTO, PRODUCCION LOCAL	ALTA EMISION DE CO2, FUERA DEL CONFORT TERMICO, SU VARIABILIDAD TERMICA ES ALTA.
MLM	✗	✗	✗	✗	✗	SISTEMA INDUSTRIALIZADO, RENDIMIENTO PROMEDIO, PRODUCCION LOCAL	ALTA EMISION DE CO2, FUERA DEL CONFORT TERMICO, SU VARIABILIDAD TERMICA ES ALTA.

BTC: BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA
VIP: PANEL DE AISLAMIENTO AL VACIO
MC: MURO COMPUUESTO
BE: BLOQUE ESTRUCTURAL
SIT: SISTEMA INDUSTRIALIZADO TUNEL
MLM: MURO LADRILLO MACIZO

Tabla 24. Análisis comparativo de ventajas y desventajas.

6.3.4. Resultados comparativos de costos de las envolventes.

Respecto a la dimensión económica se realizaron un análisis de precios unitarios a cada una de los materiales de las envolventes en fachada estudiadas para ello se obtuvieron los costos por m² a nivel nacional e internacional (los valores en dólares fueron convertidos en pesos para tener una misma unidad de medida), en la tabla 22. se observa que el mejor en términos económicos que la envolvente más económica es la del ladrillo macizo que corresponde a una tecnología tradicional, con un valor de \$56.000 por m², con un espesor de muro de 0,16 m. Por otro lado, la envolvente más costosa es la de muro compuesto que corresponde a una tecnología limpia y tiene un costo de \$170.000 por m², con un espesor de muro de 0,28 m. Dentro del rango de las tecnologías limpias, la envolvente más económica es la que utiliza BTC con un valor de \$65.000, con un espesor de muro de 0,17 m. En este contexto se observa que la tecnología limpia que tienen mayores posibilidades de introducirse en el mercado con un precio competitivo sería el BTC.

Fonseca, Luis Edgardo

ANANLISIS COMPARATIVO DE COSTO			
TIPO	ESPESOR	COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U"	COSTO m2
BTC	0,17	1,79	\$65.000
VIP	0,1	0,33	\$140.000
MC	0,28	1,53	\$170.000
BE	0,145	2,86	\$90.000
SIT	0,13	2,95	\$110.000
MLM	0,14	2,84	\$56.000

BTC: BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA
VIP: PANEL DE AISLAMIENTO AL VACÍO
MC: MURO COMPUESTO
BE: BLOQUE ESTRUCTURAL
SIT: SISTEMA INDUSTRIALIZADO TÚNEL
MLM: MURO LADRILLO MACIZO

Tabla 25. Análisis comparativo de costo.

6.3.5 Resultados del estudio de norma.

Al hacer el estudio comparativo se observa que los materiales de las envolventes de fachadas de vivienda VIS en Tunja que responden adecuadamente a las normas y estándares son las envolventes de tecnologías limpias. Por otra parte, se observa que ninguna de las tecnologías tradicionales está cumpliendo con los requerimientos de normas nacionales e internacionales, en términos de sostenibilidad.

ANANLISIS COMPARATIVO ESTUDIO DE NORMA					
TIPO	DECRETO 0549 DE 2015	ASHRAE 55	ASHRAE 62.1	ASHRAE 90.1	ASHRAE 169
BTC	✓	✓	N/A	✓	✓
VIP	✓	✓	✓	✓	✓
MC	✓	✓	✓	✓	✓
BE	x	x	x	x	x
SIT	x	x	x	x	x
MLM	x	x	x	x	x

BTC: BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA
VIP: PANEL DE AISLAMIENTO AL VACÍO
MC: MURO COMPUESTO
BE: BLOQUE ESTRUCTURAL
SIT: SISTEMA INDUSTRIALIZADO TUNEL
MLM: MURO LADRILLO MACIZO

Tabla 26. Análisis comparativo estudio normas.

6.3.6 Resultados del análisis cualitativo de las dimensiones de sostenibilidad.

Teniendo en cuenta los análisis previos, a continuación, se analizará la relación entre las tres dimensiones de sostenibilidad para cada una de las envolventes. En este sentido, se observa que, desde la perspectiva de las tecnologías limpias, la envolvente que cumple con las tres dimensiones de la sostenibilidad es el BTC. Ya que es la tecnología limpia que mayores posibilidades de aceptación, apropiación y competitividad económica,

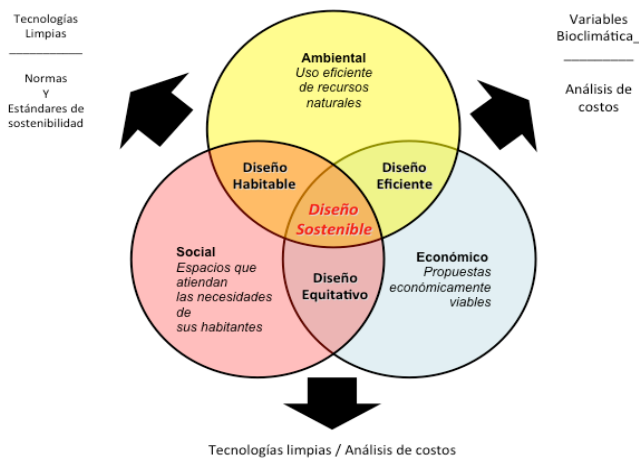
ANANLISIS COMPARATIVO DE SUS DIMENSIIONES DE SOSTENIBILIDAD			
TIPO	AMBIENTAL	SOCIAL	ECONOMICA
BTC	✓	✓	✓
VIP	✓	X	X
MC	X	X	X
BE	X	✓	✓
SIT	X	X	X
MLM	X	✓	✓

BTC: BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA
 VIP: PANEL DE AISLAMIENTO AL VACIO
 MC: MURO COMPUESTO
 BE: BLOQUE ESTRUCTURAL
 SIT: SISTEMA INDUSTRIALIZADO TUNEL
 MLM: MURO LADRILLO MACIZO

Tabla 27. Análisis comparativo dimensiones de sostenibilidad.

7. Síntesis de resultados respecto a las dimensiones del Diseño Sostenible.

A continuación, se hará una síntesis de los resultados de acuerdo con las dimensiones de los núcleos problemáticos de la maestría en diseño sostenible, para comprender los resultados desde la perspectiva de la sostenibilidad como un problema sistémico. Esta comparación se hará desde: El diseño habitable, el diseño eficiente y el diseño equitativo.

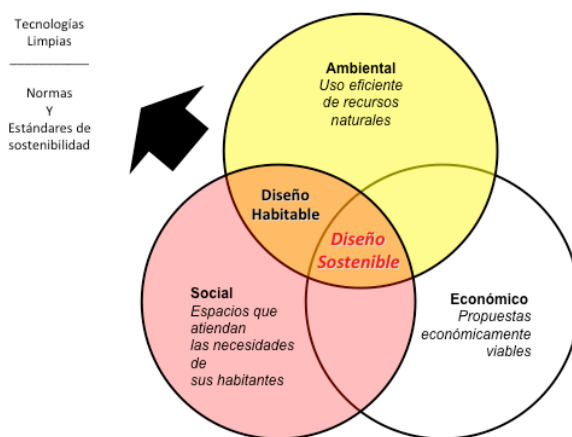


Fuente: adaptación del grafico de Cubillos (2019); Cubillos (2015); Beach (2010) y Sikdar (2003).

Figura 40. Análisis de resultados diseño habitable, eficiente y equitativo.

7.1 Análisis de los resultados respecto al Diseño Habitable.

Respecto al diseño habitable se relacionara la dimensión ambiental con la dimensión social. En donde, se busca el uso eficiente de los recursos naturales con espacios que atiendan las necesidades de sus habitantes. Para poder comparar estas dos demisiones se utilizara como recurso las tecnologías limpias, normas y estándares de sostenibilidad.



Fuente: adaptación del grafico de Cubillos (2019); Cubillos (2015); Beach (2010) y Sikdar (2003).

Figura 41. Análisis de resultados diseño habitable.

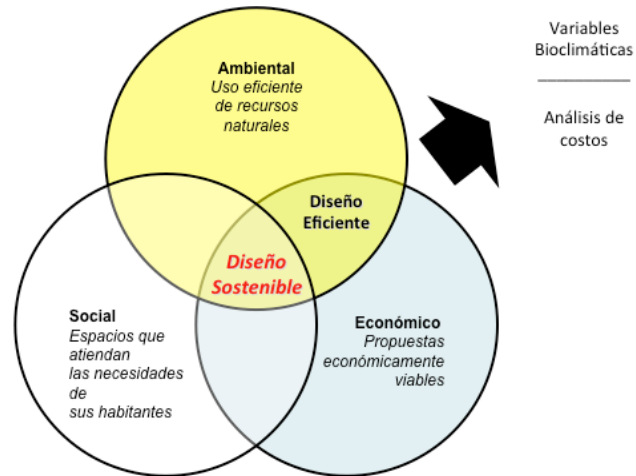
Relacionar lo social con lo ambiental visto desde las siguientes variables: nuevas tecnologías Vs estándares.

Entendiendo que el diseño habitable busca las condiciones mínimas de habitabilidad. En esta contexto relacionamos la dimensión física de la envolvente con las variables climáticas para determinar las condiciones mínimas de habitabilidad.

7.2 Análisis de los resultados respecto a la dimensión del Diseño Eficiencia.

En relación al diseño eficiencia se relacionara la dimensión ambiental con la dimensión económica. En donde, Uso eficiente de recursos naturales con propuestas económicamente viables. Para poder comparar estas dos demisiones se utilizara como recurso las variables bioclimáticas y análisis de costos. Es de anotar que aquí vemos la tecnología vista desde su

dimensión social teniendo en cuenta el nivel de aceptación, apropiación y de costos desde lo económico. En la Figura 41 se ve la relación entre las dimensiones anterior mentes descritas y sus variables.



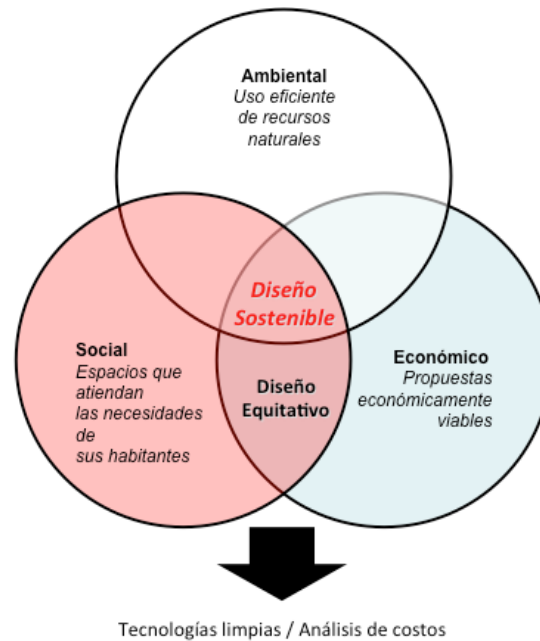
Fuente: adaptación del grafico de Cubillos (2019); Cubillos (2015); Beach (2010) y Sikdar (2003).

Figura 42. Análisis de resultados diseño eficiente.

7.3 Análisis de los resultados respecto a la dimensión del Diseño Equitativo.

En relación al diseño equitativo se relacionara la dimensión económica con la dimensión social. En donde, espacios que atiendan las necesidades de sus habitantes con propuestas económicamente viables. Para poder comparar estas dos demisiones se utilizara como recurso las tecnologías limpias y análisis de costos. Es de anotar que aquí vemos la tecnología vista desde su dimensión social teniendo en cuenta el nivel de aceptación, apropiación y de costos desde lo económico. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ve la relación entre las dimensiones anterior mentes descritas y sus variables.

Fonseca, Luis Edgardo



Fuente: adaptación del gráfico de Cubillos (2019); Cubillos (2015); Beach (2010) y Sikdar (2003).

Figura 43. Análisis de resultados diseño equitativo.

Recomendaciones.

1. Implementar un sistema de gestión de tecnologías limpias que permita que las empresas de vivienda VIS en Tunja puedan acceder a dicha tecnología.
2. Realizar talleres para constructores y diseñadores sobre Diseño Sostenible.
3. Socializar estrategias de Diseño Sostenible a planificadores gestores y tomadores de decisiones.
4. Involucrar a productores y proveedores de materiales de construcción en procesos de producción limpia que centre su dinámica en el análisis de ciclo de vida.

Conclusiones.

Esta investigación propuso las siguientes preguntas:

En primer lugar: ¿Cuál es el comportamiento térmico óptimo para el diseño de las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja que cumplan con los requerimientos mínimos de habitabilidad?

En esta investigación se identificó que el comportamiento óptimo para el diseño de una envolvente VIS en la ciudad de Tunja es la que utilice una tecnología limpia con oscilación entre 4,9°C y 5,6°C. Por otro lado, esta envolvente debe alcanzar el rango de confort que plantean las normas, que está entre 21°C a 25 °C (decreto 0459 del 2015) o en un rango entre 23 a 27 (norma ASHRAE 55). De las envolventes analizadas la más factible es el BTC porque, aunque no cumple con ciertos requerimientos de confort térmico es la de mayor aceptación y apropiación tecnológica respecto a las tecnologías limpias y tecnologías convencionales.

En segundo lugar: ¿Cuáles son las condiciones óptimas de las envolventes de vivienda VIS que permitirían la implementación de tecnologías limpias para mejorar su eficiencia energética en la ciudad de Tunja? La envolvente que tiene las mejores condiciones de eficiencia energética es el panel de aislamiento al vacío en la ciudad de Tunja. Sin embargo los resultados mostraron que no es la de mayor aceptación y apropiación tecnológica para el contexto de Tunja.

Por último: ¿Qué tipo de materiales sostenibles son adecuados para el mejoramiento del aislamiento térmico en las envolventes? Esta investigación identificó tres materiales sostenibles que pueden ser utilizados en las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja. Los materiales utilizados fueron: Bloque de tierra comprimida (BTC), Panel de aislamiento al vacío (VIP) y Muro compuesto (MC).

Por otro lado, respecto a las hipótesis de investigación este estudio pudo validar la hipótesis nula planteada:

H₀: La mejora en el aislamiento térmico a partir de la aplicación de tecnologías limpias en las envolventes de la vivienda VIS en Tunja permite cumplir con los requerimientos mínimos de habitabilidad (✓).

Se puede afirmar que la hipótesis nula es válida de acuerdo con los resultados y análisis realizados en los puntos anteriores. Los resultados también validaron que la hipótesis alternativa también es válida de acuerdo con los resultados arrojados en esta investigación

H₁: La aplicación de materiales sostenibles mejora el aislamiento térmico en las envolventes de la vivienda VIS en la ciudad de Tunja (✓).

Finalmente se concluye que: Los materiales constructivos en bloque de tierra comprimida BTC son los de más fácil transferencia, adaptación y aceptación tecnológica al contexto de Tunja.

Referencias

- Abdul Hamid, A., & Wallentén, P. (2017). Hygrothermal assessment of internally added thermal insulation on external brick walls in Swedish multifamily buildings. *Building and Environment*, *123*, 351–362. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.019>
- Alam, M., Singh, H., & Limbachiya, M. C. (2011). Vacuum insulation panels (vips) for building construction industry - a review of the contemporary developments and future directions. *Applied Energy*, *88*(11), 3592–3602. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.040>
- Auliciems A. (1981). Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal. *Biometeorol*, *25*, 2, 109-122.
- Al-Sanea, S. A., Zedan, M. F., Al-Mujahid, A. M., & Al-Suhaibani, Z. A. (2016). Optimum R-values of building walls under different climatic conditions in the Kingdom of Saudi Arabia. *Applied Thermal Engineering*, *96*, 92–106. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.072>
- Arteaga Medina, K. T., Medina, O. H., & Gutierrez Junco, O. J. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*, *20*(31), 55–68.
- Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R. F., Mauro, G. M., & Vanoli, G. P. (2015). Design of the building envelope: A novel multi-objective approach for the optimization of energy performance and thermal comfort. *Sustainability (Switzerland)*, *7*(8), 10809–10836. <https://doi.org/10.3390/su70810809>
- ASHRAE. (2001). Fundamentals. Estados Unidos: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Aste, N., Angelotti, A., & Buzzetti, M. (2009). The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings. *Energy and Buildings*, *41*(11), 1181–1187. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.06.005>
- Ballén Zamora, S. A. (2009). VIVIENDA SOCIAL EN ALTURA: ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN EN BOGOTÁ / HIGH RISE SOCIAL HOUSING: BACKGROUND AND PRODUCTION TRAITS IN BOGOTA. *Revista INVI*(67), 95. doi:10.4067/S0718-83582009000300004
- Baena, A. y Olaya, C. (2013). Vivienda de Interés Social de calidad en Colombia: hacia una solución integral. *Revista S&T*, *11*(24), 9-26
- Belakroum, R., Gherfi, A., Bouchemma, K., Gharbi, A., Kerboua, Y., Kadja, M., ... Lachi, M. (2017). Hygric buffer and acoustic absorption of new building insulation materials based on date palm fibers. *Journal of Building Engineering*, *12*(November 2016), 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.05.011>
- Boestra A. C. (2006). The adaptive thermal comfort criterion in the new EPBD IEQ Standard. *BBA Indoor Environmental Consultancy*.
- Bjarløv, S. P., Finken, G. R., & Odgaard, T. (2015). Retrofit with interior insulation on solid masonry walls in cool temperate climates - An evaluation of the influence of interior insulation materials on moisture condition in the building envelope. *Energy Procedia*, *78*, 1461–1466. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.171>

- Carla, B., & Giuseppe, P. (2017). Numerical multiphysics modelling for the assessment of thermo-physical and energy performance of an advanced semi-opaque active façade. *International Journal of Heat and Technology*, 35(3), 639–644. <https://doi.org/10.18280/ijht.350322>
- Constitución Política de Colombia*. (2003). Bogotá, D.C. LEGIS 2003.
- Concejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2018). Vivienda de Interés Social.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). Los materiales en la construcción de vivienda de interés social / Díaz Reyes, Carlos Alberto; Ramírez Luna, Julia Aurora (Eds.), Aincol (textos) .-- Bogotá, D.C. Colombia.
- Daouas, N. (2011). A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads. *Applied Energy*, 88(1), 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.030>
- Derradji, L., Imessad, K., Amara, M., & Boudali Errebai, F. (2017). A study on residential energy requirement and the effect of the glazing on the optimum insulation thickness. *Applied Thermal Engineering*, 112, 975–985. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.116>
- Díaz Regodón, M. I., & Tenorio Ríos, J. A. (2005). Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios.
- El Paso Solar Energy Association, Construyendo con adobe. [En línea]. Disponible en: [7] <http://www.epsea.org/esp/pdf2/adobe.pdf>. [Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2010].
- Ferrari, S. (2007). Building envelope and heat capacity: re-discovering the thermal mass for winter energy saving. *PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Technologies in the 21st Century*, 1(September), 346–351.
- Galíndez, F. (2007). Bloques de tierra comprimida (btc) sin adición de cemento. In *Fundación MAPFRE*.
- G.M Viñuales. Tecnología y construcción con tierra. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Conicet, Argentina, 2008.
- Gonzalo G. E.; Nota V. M.; Hernández S. P.; Martínez C. F. y Ledesma S. L. (2007). *Diseño Bioclimático de Oficinas. Pautas para San Miguel de Tucumán*. Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente, Instituto de Acondicionamiento Ambiental. 1a edición, p.285, Tucumán, Argentina.
- Gou, S., Nik, V. M., Scartezzini, J. L., Zhao, Q., & Li, Z. (2018). Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand. *Energy and Buildings*, 169, 484–506. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.095>
- Gossard, D., Lartigue, B., & Thellier, F. (2013). Multi-objective optimization of a building envelope for thermal performance using genetic algorithms and artificial neural network. *Energy and Buildings*, 67, 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.026>
- Guimaraes Mercon, M. (2008). Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo: análisis térmico de la cubierta ventilada. *Universidad de Cataluña. Barcelona*.

- Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Trombley, J., Hassan, N., Baig, M., ... Azzam Ismail, M. (2018). A review on energy conscious designs of building façades in hot and humid climates: Lessons for (and from) Kuala Lumpur and Darwin. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(September 2017), 2147–2161. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.061>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.
- Inda Tello, Claudia Mirella, Vargas-Hernández, José G. (2012) ECOEFICIENCIA Y COMPETITIVIDAD: TENDENCIAS Y ESTRATEGIAS CON METAS COMUNES. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Colombiana para bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. ICONTEC, 2004. 39 p. NTC 5324.
- Henaó, L. Herrera, G. Trujillo, H. y Cárdenas, A. (2014). Colombia: Cien años de políticas habitacionales. Bogotá, Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio para el Séptimo Foro Mundial.
- Hellwig R.T. y Bischof W. (2006). Gültigkeit thermischer Behaglichkeitsmodelle. *Bauphysik* 28, 2, 131-136. Inda Tello, Claudia Mirella, Vargas-Hernández, José G., ECOEFICIENCIA Y COMPETITIVIDAD: TENDENCIAS Y ESTRATEGIAS CON METAS COMUNES. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente [en línea] 2012.
- Hernández Sampieri, R., Baptista Lucio, M. d. P., & Fernández Collado, C. (2014). *Metodología de la investigación*: México, D.F. McGraw Hill, 2014
- Johra, H., Heiselberg, P. K., & Le Dréau, J. (2017). Numerical Analysis of the Impact of Thermal Inertia from the Furniture / Indoor Content and Phase Change Materials on the Building Energy Flexibility. *Building Simulation* 2017, 35–42.
- Johansson, P., Geving, S., Hagentoft, C. E., Jelle, B. P., Rognvik, E., Kalagasidis, A. S., & Time, B. (2014). Interior insulation retrofit of a historical brick wall using vacuum insulation panels: Hygrothermal numerical simulations and laboratory investigations. *Building and Environment*, 79, 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.014>
- Kameni Nematchoua, M., Ricciardi, P., Reiter, S., & Yvon, A. (2017). A comparative study on optimum insulation thickness of walls and energy savings in equatorial and tropical climate. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 170–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.02.001>
- Kalnæs, S. E., & Jelle, B. P. (2014). Vacuum insulation panel products: A state-of-the-art review and future research pathways. *Applied Energy*, 116(7465), 355–375. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.11.032>
- Konis, K., Gamas, A., & Kensek, K. (2016). Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support. *Solar Energy*, 125, 161–179. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.020>
- Kim, D., Cox, S. J., Cho, H., & Yoon, J. (2018). Comparative investigation on building energy performance of double skin façade (DSF) with interior or exterior slat blinds. *Journal of Building Engineering*, 20(July), 411–423. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.08.012>

- Kuchen E y Fisch M. N. (2009). Spot Monitoring - Thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter. *Building and Environment*; 44, 4, 839-847.
- KLEES, Delia R. - COCCATO, Cecilia. “Ciclo de vida sostenible de los materiales de construcción”. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005. Departamento de Estabilidad - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Nordeste -Av. Las Heras 727 - CP (3500) - Resistencia - Chaco - República Argentina - E-mail: estabilidad@ing.unne.edu.ar - Telefax: (03722) 420076.
- Larsen, S. F., Filippín, C., & Lesino, G. (2009). Thermal behavior of building walls in summer: Comparison of available analytical methods and experimental results for a case study. *Building Simulation*, 2(1), 3–18. <https://doi.org/10.1007/S12273-009-9103-6>
- Maldonado, L., Castilla, P., & Vela, F. (2001). (*Performance and Energetic Cost in the Construction of Adobe and*. 11.
- Odgaard, T., Bjarløv, S. P., & Rode, C. (2018). Interior insulation – Experimental investigation of hygrothermal conditions and damage evaluation of solid masonry façades in a listed building. *Building and Environment*, 129(November 2017), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.015>
- P. McHenry. Adobe. Cómo construir fácilmente. México D.F.: Trillas, 1996.
- Mandilaras, I., Atsonios, I., Zannis, G., & Founti, M. (2014). Thermal performance of a building envelope incorporating ETICS with vacuum insulation panels and EPS. *Energy and Buildings*, 85, 654–665. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.053>
- María Victoria Mercado; Alfredo Esteves; Celina Filippin. (2010). Comportamiento térmico-energético de una vivienda social en la ciudad de Mendoza, Arqgentina.
- Mayer E. (1998). Ist die bisherige Zuordnung von PMV und PPD noch richtig. *Klimatechnik / Behaglichkeit; Ki Luft- und Kältetechnik* 12/1998.
- Mark Z. Jacobson y Mark A. Delucchi. (2010). Energía Sostenible, Objetivo 2030. Las tecnologías eólica, hidráulica y solar pueden proveer la totalidad de la energía que el planeta necesita; se podría prescindir de los combustibles fósiles.
- Martínez, P., Urquieta, W., & Sarmiento, P. (2005). Evaluación de la humedad por condensación al interior de viviendas sociales. *Revista INVI*.
- Minke, G. *Manual de Construcción en Tierra*. Ed. Fin de Siglo. Uruguay 2005.
- Pérez-Pérez, A. L. (2016). El diseño de la vivienda de interés social. La satisfacción de las necesidades y expectativas del usuario. *Revista de Arquitectura*, 18(1), 67-75. doi: 10.14718/RevArq.2016.18.1.7
- Pérgolis, J. C., y Moreno Hernández, D. (2009). La capacidad comunicante del espacio. *Revista de Arquitectura*, 11, 68-73.
- Ramos Calonge, H. (2011, 2011). El confort en la vivienda de bajo costo: modelo metodológico para diagnosticar higrotermicidad, iluminación y acústica.

- Reilly, A., & Kinnane, O. (2017). The impact of thermal mass on building energy consumption. *Applied Energy*, 198, 108–121. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.024>
- Rolando Arturo Cubillos-González, Francisco Javier Novégil-Anleo-González y Oscar Alfonso Cortés-Cely (2017) Territorios resilientes y eficientes en Bogotá
- Romero-Pérez, C. K., Rodríguez-Muñoz, N. A., Alpuche-Cruz, M. G., & Martín-Domínguez, I. R. (2017). Preliminary study of the condition of social housing in the city of Durango, México. *Energy Procedia*, 134, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.594>
- Verbeke, S., & Audenaert, A. (2018). Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(September 2017), 2300–2318. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.083>
- Simmler, H., & Brunner, S. (2005). Vacuum insulation panels for building application: Basic properties, aging mechanisms and service life. *Energy and Buildings*, 37(11 SPEC. ISS.), 1122–1131. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.015>
- Stazi, F., Bonfigli, C., Tomassoni, E., Di Perna, C., & Munafò, P. (2015). The effect of high thermal insulation on high thermal mass: Is the dynamic behaviour of traditional envelopes in Mediterranean climates still possible? *Energy and Buildings*, 88, 367–383. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.056>
- Sergio Vera, Martín Ordines (2003). Evaluación del desempeño energo-térmico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios.
- Tadeu, A., Simões, I., Simões, N., & Prata, J. (2011). Simulation of dynamic linear thermal bridges using a boundary element method model in the frequency domain. *Energy and Buildings*, 43(12), 3685–3695. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.001>
- Touloupaki, E., & Theodosiou, T. (2017). Optimization of Building form to Minimize Energy Consumption through Parametric Modelling. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 509–514. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.114>
- Walsh, B. P., Murray, S. N., & O’Sullivan, D. T. J. (2013). Free-cooling thermal energy storage using phase change materials in an evaporative cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 59(1–2), 618–626. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.06.008>
- Xing, R., Hanaoka, T., Kanamori, Y., & Masui, T. (2017). A study on mitigation potential in service building sector: Efficient technology implications of China’s Intended Nationally Determined Contribution. *Energy Procedia*, 134, 432–441. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.597>
- Yilmaz, Z. (2007). Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate. *Energy and Buildings*, 39(3), 306–316. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.08.004>
- Zain, Z. M., Taib, M. N., & Baki, S. M. S. (2007). Hot and humid climate: prospect for thermal comfort in residential building. *Desalination*, 209(1–3 SPEC. ISS.), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.04.036>



Zhou, J., Zhang, G., Lin, Y., & Li, Y. (2008). Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings. *Energy and Buildings*, 40(6), 979–986. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.08.001>