



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“APROVECHAMIENTO DEL CAUCHO RECICLADO DE LOS NFU
COMO AISLANTE TÉRMICO EN UNA VIVIENDA DE INTERÉS
SOCIAL”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: DOMÉNICA LILIANA CASTILLO AULESTIA, JEIMMY
ESTEFANÍA GUANGA TUQUIÑAGUI**

DIRECTOR: ING. CIV. DORIS ALEXANDRA ALVEAR, M.Sc.

CUENCA - ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

APROVECHAMIENTO DEL CAUCHO RECICLADO DE LOS NFU COMO
AISLANTE TÉRMICO EN UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR: DOMÉNICA LILIANA CASTILLO AULESTIA - JEIMMY
ESTEFANIA GUANGA TUQUIÑAGUI

DIRECTOR: ING. CIV. DORIS ALEXANDRA ALVEAR, M.Sc.

CUENCA- ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Doménica Liliana Castillo Aulestia y **Jeimmy Estefanía Guanga Tuquiñagui** portadoras de las cédulas de ciudadanía N° **0350005575** y N° **0107592685**. Declaramos ser las autoras de la obra: **“Aprovechamiento del caucho reciclado de los NFU como aislante térmico en una Vivienda de Interés Social”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Doménica Liliana Castillo Aulestia

Jeimmy Estefanía Guanga Tuquiñagui



CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por las estudiantes, Doménica Liliana Castillo Aulestia y Jeimmy Estefanía Guanga Tuquiñagui, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Doris Alexandra Alvear Calle".

Ing. Doris Alexandra Alvear Calle, M.Sc.

DIRECTOR



DEDICATORIA

A Dios por bendecirme en cada paso de mi vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Jaime y Gloria por su paciencia y su motivación constante, por ser ese pilar fundamental y animarme a no rendirme y alcanzar este sueño. A mi hijo Xavier que desde ya es la fuerza que me impulsa a querer salir adelante siempre.

Doménica Castillo Aulestia

Dedico esta tesis a mi padre Manuel Tuquiñagui, la persona más especial en mi vida, el motor que me ha impulsado a seguir en esta carrera y ser perseverante ante todos los obstáculos que se han presentado a lo largo que a pesar no de estar presente junto a mí en estos momentos ha sido la razón principal por anhelar el título de ingeniero civil y a mi mamá Blanca Tuquiñagui por sus sacrificios en cuidarme, protegerme y nunca desistir, sin importar las condiciones que tuvo que pasar para poder situarme en el lugar donde estoy ahora.

Estefanía Guanga Tuquiñagui



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios y la Virgen por guiarme, darme la fuerza y sabiduría para poder alcanzar este sueño tan anhelado. A mis padres Jaime y Gloria por su apoyo incondicional, por confiar siempre en mí, por sus sacrificios para ayudarme a conseguir esta meta. A Santiago por su apoyo y sus palabras de aliento en todo momento. A mi tía Piedad por estar en todos estos años dándome su apoyo. A mis docentes por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, a la Ing. Alexandra Alvear tutora de nuestra tesis, quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo, a mi compañera de tesis Estefanía por su aporte importante para la culminación de este proyecto. A todos quienes de una u otra manera me brindaron su apoyo en todo este camino.

Doménica Castillo Aulestia

Agradezco infinitamente a Dios por brindarme oportunidades de superarme cada día, guiarme a conseguir una meta más en mi vida, darme una hermosa familia que han sido el pilar fundamental en mi crecimiento personal, en especial a mi mamá Blanca por su amor y apoyo incondicional; a mi hermana Camila por estar junto a mí en cada adversidad, y a mis abuelitos Carmen y Manuel por sus consejos y cariño desde que tengo memoria. A la universidad por permitirme adquirir los conocimientos necesarios para desarrollarme, instruirme con los mejores ingenieros con una cálida personalidad y conocer a amistades verdaderas que creyeron en mí en todo momento. A mi compañera y amiga Doménica que en trabajo conjunto y riguroso desarrollamos un trabajo investigativo que cumple con nuestras expectativas, con la colaboración y dirección periódica de nuestra tutora la Ing. Alexandra Alvear que ha sido nuestra base para el entendimiento del tema.

Estefanía Guanga Tuquiñagui



RESUMEN

Los neumáticos fuera de uso (NFU) acarrear graves consecuencias ambientales, especialmente por su difícil degradación y ocupación del espacio, sin embargo, poseen gran capacidad de recuperación y reutilización de su principal componente, el caucho. El presente estudio de naturaleza exploratoria y de profundidad experimental centra su análisis en la utilización del caucho reciclado de los NFU como aislante térmico en una vivienda de interés social (VIS) ubicada en la provincia del Cañar en la región interandina del Ecuador, correspondiente a un clima frío ecuatorial de alta montaña, seleccionada bajo un esquema de muestreo discrecional no probabilístico, a fin de establecer un marco de referencia teórico y práctico.

Bajo el enfoque descrito, la metodología empleada comprende una revisión documental histórica sobre las propiedades y características termo físicas del caucho reciclado. Consecuentemente, se recrean simulaciones energéticas en un Modelo de Información de Construcción – BIM (Building Information Model) – de la VIS empleando el programa DesignBuilder; permitiendo validar el comportamiento térmico del caucho y su contribución a condiciones de habitabilidad óptimas al interior de la VIS en términos de confort térmico. Los resultados de confort térmico se contrastan con la curva de confort de Fanger aplicada a los usuarios de VIS. Finalmente, los resultados obtenidos permiten destacar conclusiones cuantitativas que validan el uso del caucho reciclado de los NFU como aislante térmico en VIS, y en particular fundan directrices referenciales de técnicas de construcción sostenible aplicables a viviendas unifamiliares ubicadas en la región interandina del Ecuador.

Palabras clave: aislante térmico, caucho de NFU, confort térmico, DesignBuilder, envolventes



ABSTRACT

End-of-Life Tires (ELT) have serious environmental consequences, especially due to their difficult degradation and occupation of space; however, they have a great capacity for recovery and reuse of their main component, rubber. This study of exploratory nature and experimental depth focuses its analysis on the use of recycled rubber from ELT as thermal insulation in social housing (SH) located in the province of Cañar in the inter-Andean region of Ecuador, corresponding to a cold equatorial high mountain climate, selected under a non-probabilistic discretionary sampling scheme, to establish a theoretical and practical frame of reference.

Under the described approach, the methodology employed comprises a historical documentary review on the properties and thermo-physical characteristics of recycled rubber. Consequently, energy simulations are recreated in a Building Information Model (BIM) of the SH using the DesignBuilder program; allowing to validate the thermal behavior of the rubber and its contribution to optimal habitability conditions inside the SH in terms of thermal comfort. The thermal comfort results are contrasted with the Fanger comfort curve applied to SH users. Finally, the results obtained allow highlighting quantitative conclusions that validate the use of recycled rubber from ELT as a thermal insulator in SH, and in particular, provide reference guidelines for sustainable construction techniques applicable to single-family dwellings located in the inter-Andean region of Ecuador.

Keywords: thermal insulation, ELT rubber, thermal comfort, designbuilder, envelopes

**ÍNDICE GENERAL**

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	X
CAPÍTULO I	1
1. EL PROBLEMA	1
1.1. Introducción	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Delimitación del problema.....	5
1.4. Definición de la zona de estudio	5
1.5. Justificación	6
1.6. Objetivos	8
1.6.1. General	8
1.6.2. Específicos	8
1.7. Metodología.....	9
1.8. Hipótesis	10
CAPÍTULO II.....	11
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	11
2.1. Normativa Ambiental y Gestión de Desechos	11
2.2. Desechos Especiales.....	13
2.2.1. Caucho reciclado de los NFU.....	13
2.3. Construcción Sostenible y Economía Circular	19
2.3.1. Criterios de sostenibilidad	20
2.3.2. Economía circular y la industria de los neumáticos.....	20
2.4. Análisis de Vivienda de Interés Social.....	22
2.4.1. Vivienda de Interés Social.....	22
2.4.2. Tipología y materialidad.....	23
2.4.3. Análisis de costos	27



2.5. Confort Térmico	29
2.5.1. Análisis de percepción social	30
2.6. Propiedades Térmicas de los materiales	33
2.6.1. Conductividad térmica	33
2.6.2. Transmitancia térmica	34
2.6.3. Calor específico	35
2.7. Puente Térmico	35
2.8. Simulaciones Energéticas en edificaciones	35
2.8.1. Ficheros Climáticos obtenidos en Meteonorm	36
2.8.2. DesignBuilder	37
CAPÍTULO III	47
3. METODOS Y PROCESOS	47
3.1. Simulaciones Energéticas con DesignBuilder	47
3.1.1. Descripción del caso de estudio	49
3.1.2. Encuesta de sensación térmica por el método de Fanger	51
3.1.3. Descripción del sistema	53
3.1.3.1. Caudal de aire fresco	53
3.1.4. Ficheros climáticos obtenidos con Meteonorm	55
3.1.5. Simulación Energética de VIS modelo línea base	61
3.1.6. Simulación energética de VIS modelo modificado	68
3.1.7. Diagrama de Recorrido Solar e influencia a la vivienda de interés social	72
CAPITULO IV	81
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	81
4.1. Sensación Térmica de la VIS por el Método de Fanger	81
4.2. Resultados de la simulación en DesignBuilder	82
4.2.1. Temperaturas de la zona para la evaluación del Confort Térmico al interior de la VIS, período de invierno	82
4.2.2. Temperaturas de la zona para la evaluación del Confort Térmico al interior de la VIS, período de verano	85
4.2.3. Humedad Relativa de la VIS en el período de invierno y verano	87
4.2.4. Balance Térmico de la VIS, período de invierno	88
4.2.5. Balance Térmico de la VIS, período de verano	91
CAPITULO V	94
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1. Importancia del reciclaje del caucho de los NFU como aislante térmico	94



5.2 Generación de directrices de construcción sostenible	96
5.3 Recomendaciones	97
5.5 Anexos	103
Anexo 1: Fotografías de la visita de campo a la VIS.	103
Anexo 2: Vista en planta de la VIS.	104
Anexo 3: Tablas para la evaluación del confort térmico en la Vivienda de Interés Social.	105
Anexo 4: Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger.	109
Anexo 5: Encuestas respondidas por los usuarios de la VIS	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Lineamientos mínimos del diseño arquitectónico de viviendas del MIDUVI.	24
Tabla 2: Clasificación de viviendas de interés social del MIDUVI.	27
Tabla 3: Escala de sensación térmica en función del PMW.....	31
Tabla 4: Límites de las variables del Método de Fanger ISO 7730.	31
Tabla 5: Valores adoptados para la Tasa Metabólica en función de la norma ISO 8896.....	32
Tabla 6: Aislamiento de ropa en clo según la norma INSHT - NTP74.....	33
Tabla 7: Parámetros Básicos de configuración en DesignBuilder.	40
Tabla 8: Variables resultantes de la Simulación de DesignBuilder.....	41
Tabla 9: Tabulación de las encuestas a los usuarios de la vivienda.	51
Tabla 10: Datos para la valoración de sensación térmica con el método de Fanger de la zona de estudio.	52
Tabla 11: Niveles mínimos de iluminación.....	54
Tabla 12: Tabla de datos del fichero climático.	56
Tabla 13: Propiedades térmicas de los materiales de construcción utilizados en la VIS.	62
Tabla 14: Propiedades de paquetes constructivos de la envolvente base.	62
Tabla 15: Datos climáticos máximos y mínimos de invierno y verano.....	64
Tabla 16: Caudales mínimos de ventilación.....	65
Tabla 17: Datos de la vivienda para el cálculo de la infiltración.	65
Tabla 18: Propiedades térmicas del caucho reciclado de los NFU.....	68
Tabla 19: Propiedades de paquetes constructivos de la envolvente modificada, 4cm de caucho.	69
Tabla 20: Propiedades de paquetes constructivos de la envolvente modificada, 8cm de caucho.	69
Tabla 21: Tabla comparativa de las temperaturas de las envolventes analizadas en invierno.	82
Tabla 22: Porcentaje de horas de confort térmico durante un día en invierno.	84
Tabla 23: Tabla comparativa de las temperaturas de las envolventes analizadas en verano.....	85
Tabla 24: Porcentaje de horas de confort térmico durante un día en verano.....	86
Tabla 25: Humedad relativa de las envolventes analizadas en el período de invierno y verano.....	87
Tabla 26: Análisis comparativo del balance térmico de las envolventes de estudio en invierno.	90
Tabla 27: Análisis comparativo del balance térmico de las envolventes de estudio en verano.	93



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de ubicación de la VIS.	6
Ilustración 2: Cuadro sinóptico de la Normativa Ambiental y Gestión de Desechos	12
Ilustración 3: Proceso de trituración de NFU para la obtención de granulado de caucho.	16
Ilustración 4: Productos que se obtienen del caucho reciclado.	18
Ilustración 5: Economía circular y la industria de los neumáticos.	21
Ilustración 6: Vivienda de interés social del MIDUVI correspondiente al segmento I.	24
Ilustración 7: Vivienda del segmento II del MIDUVI.	28
Ilustración 8: Vivienda del segmento III del MIDUVI.	28
Ilustración 9: Modelación del proyecto en la pestaña Layout.	42
Ilustración 10: Variables de entrada en Actividad.	43
Ilustración 11: Ventana para definir espesores y propiedades de los materiales del elemento constructivo.	44
Ilustración 12: Ventana para configurar el acristalamiento.	44
Ilustración 13: Ventana de análisis de datos climáticos para cargar el fichero.	45
Ilustración 14: Ventana de datos del sitio, fuente MN7, para la simulación.	46
Ilustración 15: Visita de campo a la VIS.	47
Ilustración 16: Vivienda de Interés Social de estudio.	48
Ilustración 17: Llenado de encuesta a los usuarios de la VIS.	48
Ilustración 18: Vista en planta de la Vivienda de Interés Social.	49
Ilustración 19: Vista frontal y posterior de la Vivienda de Interés Social.	50
Ilustración 20: Vista lateral derecha e izquierda de la Vivienda de Interés Social.	50
Ilustración 21: Proceso para obtener un fichero climático en Meteonorm.	55
Ilustración 22: Diagrama de la Radiación solar de la zona.	57
Ilustración 23: Diagrama de Radiación global diaria de la zona.	58
Ilustración 24: Diagrama de Temperaturas mensuales promedio de la zona.	58
Ilustración 25: Diagrama de Temperaturas diarias máximas y mínimas registradas en la zona.	59
Ilustración 26: Diagrama de Precipitación mensual de la zona.	60
Ilustración 27: Diagrama de duración de la Insolación mensual de la zona.	60
Ilustración 28: Modelación geométrica de la vivienda en DesignBuilder.	61
Ilustración 29: Modelo renderizado de la VIS.	61
Ilustración 30: Detalle constructivo del piso del modelo línea base de la VIS.	63
Ilustración 31: Detalle constructivo de la pared exterior del modelo línea base.	64
Ilustración 32: Espacios interiores de la VIS sin aislante térmico.	67
Ilustración 33: Espacios interiores de la VIS sin aislante térmico.	67
Ilustración 34: Detalle constructivo del piso de la envolvente modificada.	70
Ilustración 35: Detalle constructivo de la pared externa de la envolvente modificada.	70
Ilustración 36: Definición de los elementos constructivos de la VIS con aislante térmico.	70
Ilustración 37: Espacios interiores de la VIS con aislante térmico.	71
Ilustración 38: Fachada frontal de la VIS.	72
Ilustración 39: Fachada lateral derecha de la VIS.	73
Ilustración 40: Fachada lateral izquierda de la VIS.	73
Ilustración 41: Fachada posterior de la VIS.	74
Ilustración 42: Incidencia solar en la fachada frontal de la VIS.	75
Ilustración 43: Incidencia solar en la fachada lateral izquierda de la VIS.	75
Ilustración 44: Incidencia solar en la fachada lateral derecha de la VIS.	75



Ilustración 45: Incidencia solar en la fachada posterior de la VIS.	76
Ilustración 46: Incidencia solar de la envolvente base al interior de la VIS.....	77
Ilustración 47: Incidencia solar de la envolvente base en el interior de la VIS.....	77
Ilustración 48: Incidencia solar de la envolvente modificada al interior de la VIS.....	78
Ilustración 49: Incidencia solar de la envolvente base en el interior de la VIS.....	78
Ilustración 50: Mapa de factor de luz diurna del modelo línea base.	79
Ilustración 51: Mapa de factor de luz diurna de la envolvente modificada.....	80
Ilustración 52: Sensación térmica en función del valor del voto medio estimado PMV de los usuarios de la VIS.	81
Ilustración 53: Porcentaje de satisfacción con el ambiente térmico.	81
Ilustración 54: Diagrama comparativo de las temperaturas de confort de las envolventes en invierno.....	83
Ilustración 55: Porcentaje de horas de confort térmico en un día del período de invierno.	84
Ilustración 56: Diagrama comparativo de las temperaturas de confort de las envolventes en verano.	85
Ilustración 57: Porcentaje de horas de confort térmico en un día del período de verano.....	86
Ilustración 58: Humedad Relativa de las envolventes establecidas en invierno y verano.....	87
Ilustración 59: Diagrama de balance térmico del modelo línea base durante el invierno.	88
Ilustración 60: Diagrama de balance térmico de la envolvente modificada 4 cm durante el invierno.	89
Ilustración 61: Diagrama de balance térmico de la envolvente modificada 8 cm durante el invierno.	89
Ilustración 62: Diagrama comparativo del balance térmico de las envolventes en invierno.....	90
Ilustración 63: Diagrama de balance térmico del modelo línea base durante el verano.....	91
Ilustración 64: Diagrama de balance térmico de la envolvente modificada 4 cm durante el verano.	92
Ilustración 65: Diagrama de balance térmico de la envolvente modificada 8 cm durante el verano.	92
Ilustración 66: Diagrama comparativo del balance térmico de las envolventes en verano.	93



CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Introducción

La contaminación masiva por neumáticos fuera de uso (NFU) en botaderos clandestinos y/o regulados ambientalmente ha incrementado significativamente en los últimos años por el aumento considerable en la producción de estos en el país (Comercio, 2019).

Actualmente, el gobierno ecuatoriano ha establecido normativas que regulan el manejo de estos desechos en conjunto con empresas generadoras, sin embargo, no se han logrado mayores avances al respecto. Por otro lado, el avance tecnológico y científico ha permitido encontrar soluciones sostenibles a la reutilización de estos residuos.

Varias investigaciones (Wang et al., 2020), (Kole et al., 2017), (Hittini et al., 2021), (Sambucci et al., 2020) exponen diferentes aplicaciones de los neumáticos reciclados en el campo de la construcción como aislantes acústicos, térmicos, hormigón recauchutado, pisos, asfalto de carreteras, muros de contención de vías. En el país la información sobre la reutilización de neumáticos cuantitativa es escasa, pues no hay estudios completos referentes, especialmente enfocado al uso del caucho reciclado de los NFU como aislante térmico en viviendas que permitan evaluar el comportamiento térmico.

Es por ello, que el presente estudio se enfoca en la utilización del caucho reciclado de los NFU como aislante térmico en una vivienda, específicamente tomando en estudio una vivienda de interés social bajo un esquema de muestreo no probabilístico, ubicada en la provincia del Cañar, correspondiente a un clima frío ecuatorial de alta montaña. Esto a fin de proponer acciones que minimicen el impacto ambiental y social por la inadecuada disposición final de neumáticos,



promoviendo a su vez su reutilización sostenible a través de técnicas constructivas que mejoran la calidad y el confort térmico de las viviendas.

Bajo el enfoque descrito, el trabajo de titulación comprende las siguientes etapas. Inicia en una revisión bibliográfica sobre el caucho reciclado de los NFU que son generados en el Ecuador, seguido de un análisis documental sobre las propiedades y características termofísicas, políticas y normativas ambientales que controlan el manejo de estos, métodos de reciclaje y recuperación, entre otros de interés para el caso de estudio.

Consecuentemente a la etapa de investigación documental, se entablará un análisis de criterios ponderados para el establecimiento de características termofísicas supuestas para el caso de estudio. Se validará el empleo del caucho reciclado de los NFU como material aislante térmico en la vivienda de interés social a través de simulaciones energéticas empleando el programa DesignBuilder, respaldado por el uso de ficheros climáticos obtenidos con el programa Meteonorm.

Finalmente, a través de los resultados obtenidos con las simulaciones energéticas se podrán destacar conclusiones cuantitativas que permitirán validar el uso del caucho reciclado de los NFU como aislante térmico y generar directrices de construcción sostenible aplicables a viviendas unifamiliares.



1.2. Formulación del problema

La contaminación masiva en varias provincias del Ecuador, ocasionada por el inadecuado manejo y disposición final del caucho desechado de NFU constituye un problema que afecta a toda la población durante las últimas décadas especialmente por el aumento en su producción, año tras año (CNC, 2019).

Los neumáticos usados o partes de los mismos son considerados desechos especiales según el Acuerdo Ministerial No. 142 de fecha 11 de octubre del 2012, y publicado en el Registro Oficial No. 856 de 21 de diciembre de 2012 (MAE, 2015). Estos desechos, deben mantener una gestión ambiental idónea para no dejar secuelas ambientales. Según el MAAE, actualmente existe la incineración no controlada constante de estos polímeros en distintos vertederos clandestinos del país sin ninguna vigilancia, de tal manera emiten gases peligrosos a la atmósfera que conlleva a enfermedades y/o aumento incontrolable de plagas y mosquitos por el agua estancada.

La producción de neumáticos en el Ecuador es aproximadamente 2.5 millones de unidades y la cantidad de NFU desechados de 2.4 millones; al ser una elevada cantidad de desechos especiales producidos, el estado ecuatoriano está estableciendo normativas ambientales que regulen el depósito de neumáticos que no estén en uso y en colaboración con el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) ha propuesto el retiro de estos en plantas recicladoras con la ayuda de entidades privadas y municipales (MAE, 2015).

Al considerar el reciclaje como la solución óptima para la gestión ambiental de estos desechos especiales en este estudio se plantea el aprovechamiento del caucho reciclado de los NFU como aislantes térmicos para la construcción de viviendas, de tal forma se pueda contribuir en varios aspectos tanto ambientales, económicos, como constructivos encaminados con el desarrollo sostenible.



Al estudiar las propiedades termofísicas de este material, en principal su baja conductividad térmica (Thai et al., 2020), se puede determinar que tiene posibilidades factibles y viables para actuar como un aislante térmico (Wang et al., 2020), de esta forma se contribuirá con el medio ambiente al reducir la quema de caucho y consumo energético, además nos permite tener lugares habitables que conservarán la temperatura del entorno, brindando espacios adecuados sin necesidad de implementar calentadores o ventiladores.

En la actualidad, muchas edificaciones a nivel mundial, en especial en países europeos (Simona et al., 2017) están conformadas con aislantes térmicos que se ofertan en el mercado, algunos de ellos son más costosos, como la lana de vidrio que proviene de material reciclado; sin embargo, el costo de su producción y transformaciones es elevado. Por otro lado, existen otros de bajo precio, como el poliestireno expandido, pero desafortunadamente requiere de la explotación del petróleo para su generación trayendo consigo mayores daños ambientales, por lo que se estima que el caucho es una de las opciones más beneficiosas en este campo (Al-Homoud, 2005).

En nuestro país, por lo general, son muy pocas viviendas que utilizan en sus paredes o techos, aislantes térmicos por sus altos costos, a pesar de que en el mercado exista una alta gama de techos con material de poliuretano o de alta reflectividad.

Las viviendas de interés social (VIS) convencionales en el país, no incluyen ningún diseño bioclimático que brinden el confort térmico adecuado y necesario para los habitantes. Este escenario principalmente obedece a los bajos costos de construcción establecidos en los procedimientos gubernamentales; y que impiden la actuación de estrategias de construcción sostenible que permite brindar mejores condiciones de calidad de vida a los usuarios de las VIS, así como generar ahorros energéticos.



1.3. Delimitación del problema

Espacio

Se delimita el espacio específico de análisis a una vivienda de interés social seleccionada, bajo un enfoque de muestreo no probabilístico, implantada en una zona de clima ecuatorial frío de alta montaña dentro de la provincia del Cañar, en donde el empleo del caucho reciclado de los NFU es factible.

Tiempo

Se analizará mediante simulaciones energéticas el comportamiento del caucho reciclado de los NFU como aislante térmico en una vivienda de interés social existente, a fin de determinar su eficiencia como material aislante térmico de fácil inserción en la metodología constructiva.

Universo

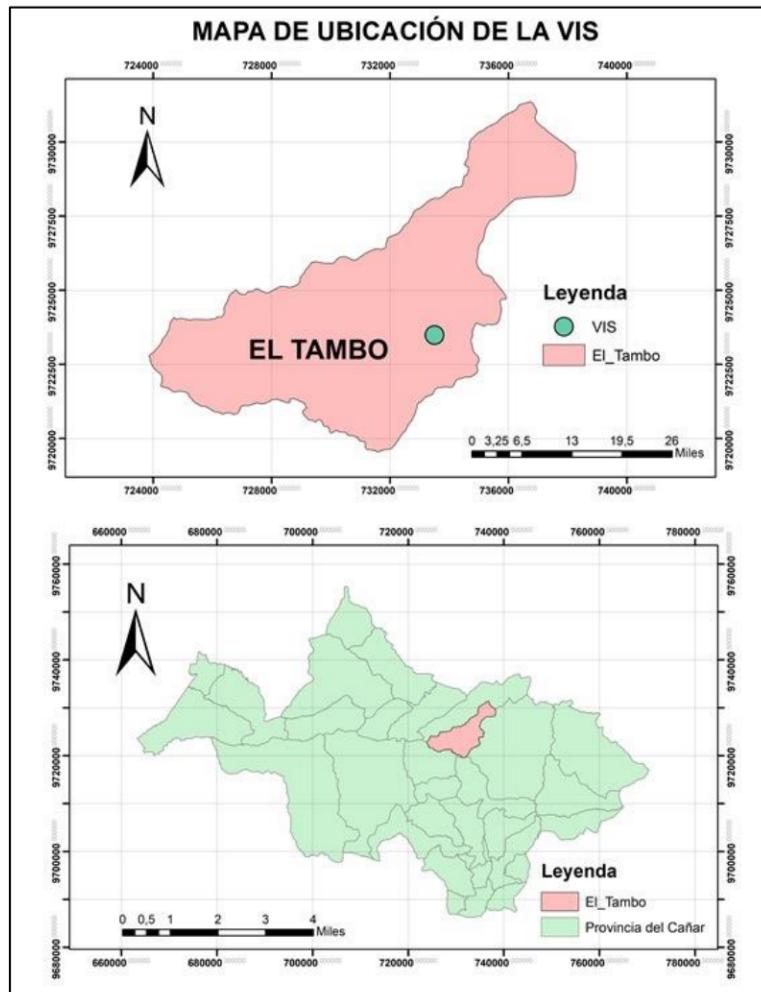
El universo de análisis se centra en el comportamiento térmico de una vivienda de interés social en el Ecuador al emplear el caucho reciclado de los NFU como aislamiento térmico dentro de su diseño convencional.

1.4. Definición de la zona de estudio

Administrativos: El estudio contempla la utilización del caucho reciclado de los NFU como aislamiento térmico, a través de simulaciones energéticas aplicadas a una vivienda de interés social emplazadas en la provincia del Cañar, en el cantón Tambo. En la Ilustración 1 se observa el mapa de ubicación de la VIS a analizarse.



Ilustración 1: Mapa de ubicación de la VIS.



Elaboración: Autores, 2021.

1.5. Justificación

Los neumáticos se consideran un material no biodegradable por tener una estructura compleja, están compuestos en un 80% por caucho vulcanizado, 15% acero y un 5% de fibras sintética. (Proaño & Stacey, 2011). Para ser fabricado requiere de elevadas cantidades de petróleo crudo, específicamente medio barril si se trata de un camión; es por esto que es tan importante que se dé un tratamiento adecuado a estos residuos considerados como especiales dentro de la normativa ambiental nacional vigente (Acuerdo Ministerial No. 142 de 11 de octubre de 2012, publicado en el Registro Oficial No. 856 de 21 de diciembre de 2012).



El MAATE, (ex MAE), considera a los neumáticos desechos especiales, por tanto su combustión expone gases peligrosos y promueven la propagación de contagios transmitidos por mosquitos y otros vectores (Sorgato, 2016).

En la actualidad existen diversos métodos para la recuperación de los NFU y la eliminación de sus componentes peligrosos, entre ellos se encuentran trituración mecánica, reencauchado, desvulcanización, y finalmente la pirolisis y termólisis (Proaño & Stacey, 2011), (Sambucci et al., 2020).

En nuestro país existen varias ciudades que se han encargado de reducir los neumáticos fuera de uso (NFU) y dar una nueva aplicación; sin embargo, no hay un suficiente mercado de reciclaje de este material debido a la falta de tecnología y la falta de información que hay sobre las dificultades que se presentan con la disposición inadecuada de llantas luego de ser usadas.

El caucho que es parte de la materia prima que se obtiene del reciclaje de los NFU es un candidato ideal para una amplia gama de aplicaciones avanzadas debido a su baja densidad, alta porosidad, baja conductividad térmica y alto coeficiente de absorción acústica (Hittini, Mourad, & Abu-Jdayil, 2020).

En el Ecuador existe en el mercado actual, la reutilización de caucho reciclado de los NFU en actividades como: fabricación de pisos elásticos prefabricados en forma de rollos o planchas, pisos deportivos, pisos en parques infantiles o baldosas; así también para el asfaltado de carreteras, aislamientos acústicos, fabricación de tejados, entre otros (Robinson, 2018). Estas soluciones encaminan a incluir el uso de este material reciclado dentro de nuevos procesos constructivos disminuyendo el problema ambiental referido a su difícil degradación y su dificultad de tratarlo como dentro de los rellenos sanitarios.



En este contexto, en el presente trabajo se pretende implementar el caucho reciclado de los NFU como aislante térmico en una vivienda de interés social en la provincia del Cañar.

1.6. Objetivos

1.6.1. General

Analizar el comportamiento del caucho reciclado de los NFU como material aislante en viviendas de interés social en el Ecuador en una zona de clima ecuatorial frío de alta montaña.

1.6.2. Específicos

- Investigar sobre el caucho reciclado de NFU en el Ecuador y sus características termofísicas.
- Identificar las características constructivas de una vivienda de interés social.
- Realizar simulaciones energéticas de una vivienda de interés social empleado el programa DesignBuilder con y sin empleo del caucho reciclado de los NFU.
- Determinar las ventajas o desventajas de aplicación del caucho reciclado de NFU como aislante térmico.



1.7. Metodología

Este estudio pretende evaluar la eficiencia del caucho reciclado de NFU en viviendas de interés social como material de construcción, con características fundamentadas en la inercia térmica del material que permiten alcanzar niveles óptimos de confort, así también su influencia en la disminución del consumo de recursos energéticos, y por lo tanto analizar su interacción con el medio ambiente y con el sector constructivo.

Para ello, se iniciará con la investigación documental técnica, legal y científica de la normativa vigente del Ecuador, de gestores autorizados para el procesamiento de NFU a nivel nacional, métodos de recuperación del caucho reciclado de los NFU, reutilización del mismo en el Ecuador, y características termofísicas. Además, se complementará el estudio con las características generales sobre las viviendas de interés social en el Ecuador, conceptos sobre simulación energética en edificaciones, programas informáticos (Design Builder y Meteonorm), construcción sostenible y economía circular. Consecuentemente, se analizará una vivienda de interés social (VIS) ubicada en el cantón Tambo, seleccionada mediante un muestreo no probabilístico, perteneciente a la provincia del Cañar, correspondiente a un clima frío ecuatorial de alta montaña. Se incluirá una revisión de la metodología constructiva, estructural, económica y de percepción social a través de encuestas generadas en campo a los usuarios de vivienda.

Una vez obtenida la información, se realizará la simulación energética empleando un Modelado de Información de Construcción de la VIS – BIM (por sus siglas en inglés Building Information Modeling) en el programa informático Design Builder con el uso de ficheros climáticos obtenidos en el programa Meteonorm. Mediante un análisis de criterios ponderados se establecerán las características termofísicas supuestas para el caso de estudio considerando dos envolventes, la



primera con las condiciones reales y la segunda que incluirá el aislante térmico proveniente del caucho reciclado de los NFU.

Finalmente, con los resultados obtenidos de las respuestas térmicas se analizará la importancia de usar el caucho reciclado de los NFU como aislante térmico y así generar directrices de construcción sostenible aplicables a las VIS, contribuyendo a mejorar las condiciones de habitabilidad de los usuarios y simultáneamente contribuir con los objetivos de economía circular.

1.8. Hipótesis

El caucho reciclado de los NFU puede ser empleado en viviendas de interés social como material aislante térmico dentro del sistema constructivo.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Normativa Ambiental y Gestión de Desechos

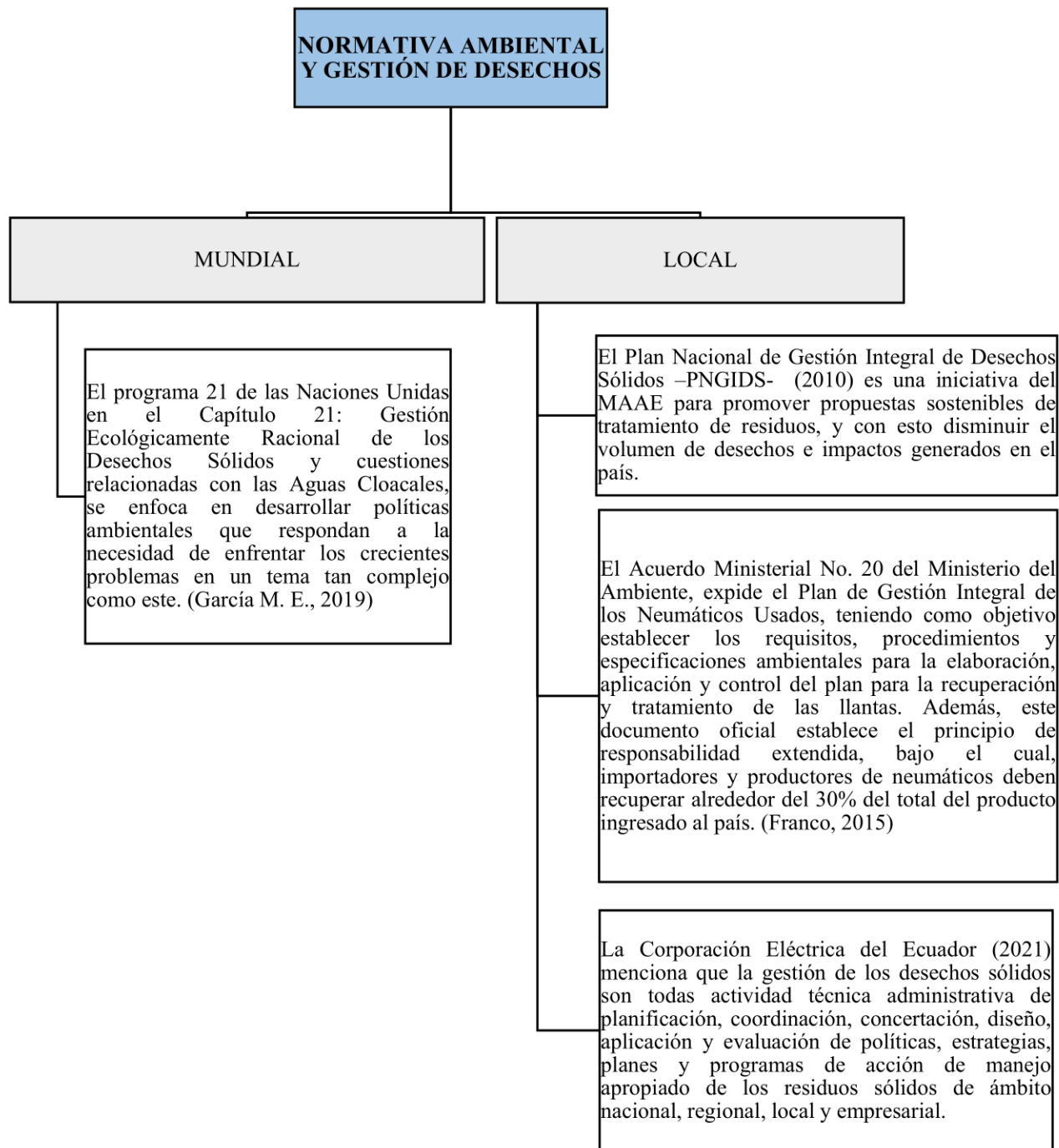
Las normas ambientales tienen la finalidad de controlar y preservar la calidad ambiental en el transcurso de un proyecto en todas sus etapas, como construcción, operación, cierre y mantenimiento. A través de disposiciones reguladas por el ente encargado se adoptan e imponen medidas de prevención, precaución, reducción y mitigación que contribuyen al cuidado y mantenimiento del medio ambiente, reducción de contaminación así como el manejo adecuado de los recursos naturales, en las distintas actividades realizadas por el ser humano (Galarza & Santana, 2016).

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – MAATE - (2021) es la Autoridad Nacional Ambiental competente quien se encarga de velar el cumplimiento de las normas y reglamentos establecidos en cuanto al medio ambiente en el Ecuador.

La Ilustración 2 muestra la normativa ambiental y gestión de desechos mundial y localmente.



Ilustración 2: Cuadro sinóptico de la Normativa Ambiental y Gestión de Desechos



Elaboración: Autores, 2021



2.2. Desechos Especiales

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – MAATE menciona que “se debe implementar un sistema de recuperación, reutilización y/o reciclaje para disminuir la generación de desechos con el adecuado manejo y disposición, evitando la saturación de los rellenos sanitarios municipales” (MAATE, 2021).

Según el Art. 80 de la Sección II del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente - TULSMA- (2017) se considerarán como desechos especiales los siguientes:

a. Aquellos desechos que, sin ser peligrosos, por su naturaleza, pueden impactar al ambiente o a la salud, debido al volumen de generación y/o difícil degradación y, para los cuales se debe implementar un sistema de recuperación, reúso y/o reciclaje con el fin de reducir la cantidad de desechos generados, evitar su inadecuado manejo y disposición, así como la sobresaturación de los rellenos sanitarios municipales;

b. Aquellos cuyo contenido de sustancias tengan características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológico-infecciosas y/o radioactivas, no superen los límites de concentración establecidos en la normativa ambiental nacional o en su defecto la normativa internacional aplicable.

c. Aquellos que se encuentren determinados en el listado nacional de desechos especiales. Estos listados serán establecidos y actualizados mediante acuerdos ministeriales.

2.2.1. Caucho reciclado de los NFU

Los neumáticos, son piezas compuestas por caucho natural y sintético, cargas reforzantes, antioxidantes, materiales metálicos, textiles y otros ingredientes, las proporciones de estos difieren de acuerdo al fabricante y el tipo de neumático.



Los Neumáticos fuera de uso (NFU) se convierten en residuos al momento que el productor o propietario los desechan por cumplir su vida útil. Las propiedades del polvo de caucho que se obtiene del reciclaje, dependen del método de trituración, excedentes de contaminantes metálico y textil y granulometría de las partículas (Herrero del Cura, 2016).

Se producen mundialmente alrededor de 1.300 millones de neumáticos, los mismos que una vez terminada su vida útil se convierten en una fuente de contaminación para el medioambiente cuando su eliminación o reutilización se realiza de manera inapropiada, ya que presentan una alta capacidad calorífica y no son degradables, son resistentes al ozono, la luz, y las bacterias y es así que los torna indestructibles por el paso del tiempo, además su almacenamiento en vertederos no permite recuperar materia ni energía; entonces es necesario una norma que los regule teniendo en cuenta esas particularidades. (Aparicio, 2020)

Criollo (2014) menciona que en la actualidad en el Ecuador la tecnología para el reciclaje de los NFU no alcanza su sitio máximo; existen algunas ciudades que han avanzado en procesos para la reutilización, ya sea utilizando a los NFU de forma entera o pedazos hasta llegar a obtener partículas con espesores no mayores de 2 mm. Pero esto no es suficiente para reducir a los NFU en su totalidad, por lo cual se debe implementar políticas nacionales y planes de reciclaje para disminuir la contaminación del medio ambiente.

2.2.1.1. Métodos de recuperación

Existen varias técnicas para la recuperación de neumáticos usados, el más empleado en el área de la construcción es el rencauchado; seguido del proceso de tratamiento mecánico que consiste en triturar para la fabricación de balas, y mediante la tecnología de Regeneración con el objetivo de modificar la superficie biológica. (Posso y Buenaño, 2014)



Según el Ministerio del Ambiente (2013) existen tres tipos de reciclaje de llantas en el país: el reciclaje artesanal, el reciclaje industrial y el reencauche.

Cañarte y Herrera (2015) existe varios métodos que se pueden emplear para el tratamiento de neumáticos usados, para evitar la contaminación ambiental los cuales se detalla a continuación los más importantes.

- a) **Renovado:** es el proceso de reutilizar el neumático mediante el cambio de la banda de rodaje, ampliando la vida útil de la llanta.
- b) **Termólisis:** es el proceso de calentamiento en un contexto libre de oxígeno obteniendo los componentes del neumático para ser utilizados en procesos industriales o hidrocarburos.
- c) **Pirólisis:** es el proceso para descomponer térmicamente todo material que tiene carbono, tales como caucho, goma o plástico, para elaborar productos similares.
- d) **Incineración:** consiste en la combustión de compuestos orgánicos del neumático a elevadas temperaturas.
- e) **Tratamientos mecánicos:** este método consiste en el ingreso del neumático a una máquina donde se modifican sus características por ser dividido, mezclado y homogeneizado, obteniendo productos de alta calidad que suelen usarse como materia prima para la producción de otros elementos.

En la Ilustración 3 se presenta el proceso de trituración de los NFU obtener el gránulo de caucho, uno de los métodos de recuperación de estos desechos.

Ilustración 3: Proceso de trituración de NFU para la obtención de granulado de caucho.



Fuente: (ECOGREEN, 2020)

2.2.1.2. Gestores Autorizados

Según MAE (2014) en el Ecuador existen alrededor de 12 empresas registradas que forman parte del plan impulsado por el Ministerio del Ambiente que se enfoca en la movilización de neumáticos fuera de uso, en el cual se presenta el tratamiento de éstos. Estas empresas son: Aliboc, RubberAction, Reciplay, Plamec, Ecocaucho, Ecollanta, Reciplast, Greenwalks, Fabrec, Fundación Hermano Miguel, Megaservice Plaza y Autoplaza Cyclone.

Para poder dar solución al reciclaje de las llantas desechadas y la reutilización con el tratamiento continuo e idóneo, se creó la corporación sin fines de lucro denominada Sistema Ecuatoriano De Gestión Integral De Neumáticos Usado (SEGINUS), con el respaldo y aprobación del MAATE. Cerca del 80% de empresas dedicadas a la actividad de importación, venta y



producción de neumáticos conforman el SEGINUS y varias de ellas contribuyen en el proceso de recuperación y reutilización de la pieza o sus componentes (Lideres, 2018).

2.2.1.3. Disponibilidad y uso en el mercado nacional

En el año de 1995 se fundó la Ecuadorian Rubber Company (ERCO), productora de neumáticos en el país, luego en 1987 esta pasa a ser Continental Tire Andina S.A. que hasta el 2015 se mantiene como la única productora de llantas. (Franco, 2015)

El mercado nacional para los productos obtenidos del reciclaje de neumáticos es aun limitado, por lo que es necesario que exista un mayor interés por esto y se le dé un impulso. Sin embargo existe una diversidad de aplicación de la materia prima, va desde artesanías hasta combustible alternativo, esto puede generar la oportunidad de una industria nueva en el país (Aparicio, 2020).

Los principales productos se presentan a continuación:

- Bloques de caucho para pisos de protección o aislamiento.
- Moquetas para vehículos
- Piezas de automóviles
- Suelas de zapatos
- Planchas de caucho para pisos
- Baldosas
- Canchas sintéticas.

En Ecuador en la actualidad en la construcción de carreteras se utiliza el pavimento de concreto, en otros países como Estados Unidos se utiliza asfalto producido por el caucho granulado

o en polvo que permite proteger el medio ambiente y la reutilización de los desechos especiales de neumáticos. (Proaño y Stacey, 2011)

En la Ilustración 4 se expone los diferentes productos que se obtienen del caucho reciclado de los NFU según lo descrito.

Ilustración 4: Productos que se obtienen del caucho reciclado.



Fuente: (Sectoriales, 2020)

2.2.1.4. Propiedades termo físicas

El caucho reciclado de los NFU presenta una baja conductividad térmica por lo que se puede considerar un material apropiado para ser usado como aislante térmico ya que posee una capacidad de aislamiento térmico 8 veces superior a la de un suelo. (Proaño y Stacey, 2011)

Las propiedades físicas del caucho cambian con la temperatura, mientras más baja sea tiende a ser rígido y al avanzar a un estado de congelación presenta una estructura fibrosa. En estado natural este material es un hidrocarburo de color blanco o incoloro. A una temperatura de



195 °C se vuelve sólido duro y transparente; a diferencia de 0 a 10°C que es frágil y opaco; a temperaturas superiores de 20 °C se torna blando, flexible y translúcido; al aumentar la temperatura a 50 °C se vuelve plástico y pegajoso, y a 200 °C se descompone (Méndez, 2019).

2.3. Construcción Sostenible y Economía Circular

La construcción sostenible es un término aplicado en varias obras civiles en la actualidad, pues busca prevenir el impacto ambiental proveniente de proyectos de construcción en sus etapas, ya sea diseño, construcción y operación, mediante la optimización del desempeño energético en las edificaciones sin comprometer los recursos naturales involucrados durante su funcionamiento, por lo que se minimizará el gasto energético y gases contaminantes al medio natural, sin comprometer el bienestar habitacional y la calidad de vida, con la elección adecuada entre el entorno, los materiales y las condiciones estéticas (Acosta, 2009), (Pauta, 2014).

El desarrollo urbano sostenible propiciará la creación de un entorno urbano amigable con el ambiente y el espacio para vivir, considerando aspectos como el emplazamiento, para mejorar la adaptación entre las condiciones climáticas y la vivienda ya que la orientación de la vivienda es esencial para aprovechar al máximo la energía solar y la ventilación natural (Monroy, 2014), (Acevedo et al., 2012).

El sistema de construcción tradicional no ha cambiado y no ha considerado la importancia de los recursos naturales, por ello es indispensable un cambio en la mentalidad de la industria de la construcción y economía para fomentar la reutilización, reciclaje y recuperación de materiales para combatir la extracción natural de este modo concientizar y apoyar el desarrollo de productos e implementación de obras con el uso de energías renovables (Ramirez, 2002).



2.3.1. Criterios de sostenibilidad

La finalidad de los criterios de sostenibilidad es optimizar el uso y manejo de los recursos nacionales sin comprometer el medio natural con la disminución del consumo de agua y energía para la fabricación de materia prima, productos o proyectos durante su ciclo de vida, y la aplicación de acciones que integren adecuadamente tanto el territorio como el medio ambiente y los individuos previniendo posibles daños o impactos ambientales, por ende permitir a la ciudadanía recuperar la percepción de una ciudad comfortable.

2.3.2. Economía circular y la industria de los neumáticos

La economía circular en el Ecuador es un modelo actual de organización industrial, enfocada en descomponer la demanda del consumo desmedido de recursos, a través del reemplazo de sistemas tradicionales que no optimizan adecuadamente el uso, manejo y conservación de los bienes naturales por sistemas que contribuyan al ahorro de energía, aplicación de las 7R, por ende alargar el periodo útil de un elemento, ya sea reparado o renovado. Por lo que es fundamental establecer un cambio en el modelo de negocio del sistema productivo de ciclo abierto a un cerrado, priorizando la sostenibilidad en la creación de nuevos elementos y/o transformación de los existentes (García E. , 2017).

Los neumáticos poseen una compleja composición ocasionando que su gestión y control sea complicada durante su ciclo de vida, de este modo la economía circular ha implementado diferentes estrategias para el aprovechamiento de los neumáticos usados entre ellas tenemos las “7R”, que son principios con especial énfasis en el principio de reparación y se detalla a continuación: Rediseñar: enfocado en el rediseño de productos buscando alternativas innovadoras en las características de diseño de los neumáticos, Renovar: su objetivo es alcanzar la producción de neumáticos a partir de recursos renovables y dejar de lado la dependencia de los combustibles



fósiles, Reducir: este principio busca optimizar los componentes del neumático para reducir su peso, Reusar: consiste en dar el mayor uso posible al producto y así extender su vida útil, el recauchutado es una opción esencial para la economía circular, Recuperar: enfocado en la recuperación de materiales y energía, la pirolisis, gasificación e incineración son procesos que transforman los NFU en valiosos productos químicos, combustibles y energía, Reciclar: el objetivo principal del reciclaje de los neumáticos es extraer el polvo de los residuos de caucho para formar uno nuevo de esta manera se garantiza la economía circular, Reparar: este principio busca aliar a los neumáticos a una tecnología autorreparable que garantice su larga duración (Araujo, Verdejo, Miguel, & Hernández, 2020). La Ilustración 5 representa el principio de las “7R” empleado en la economía circular y la industria de los neumáticos.

Ilustración 5: Economía circular y la industria de los neumáticos.



Fuente: (Araujo, Verdejo, Miguel, & Hernández, 2020)



2.4. Análisis de Vivienda de Interés Social

El artículo 30 de la Constitución de la República del Ecuador, expone el derecho de la población a una vivienda adecuada y digna, pese a su condición social y económica.

El Estado con la finalidad de garantizar el cumplimiento de este derecho ha implementado programas y políticas que contribuyan a la producción y reproducción de condiciones materiales e inmateriales, así como la construcción y mantenimiento de infraestructuras físicas que permitan el buen vivir con el desarrollo del sistema económico social y solidario (MIDUVI, 2019).

Los programas sociales y/o subsidios estatales son establecidos en la planificación de cada Ministerio y entes encargados, por lo que son los responsables de su regulación, aprobación y elección de posibles beneficiarios, en base al marco normativo para el avance propicio de los sectores cooperativistas, asociativos y comunitarios (MIDUVI, 2019).

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en coordinación con el Ministerio de Inclusión Económica y Social, en desempeño de una vida digna con igualdad de oportunidades, tiene bajo su cargo el plan “Toda una Vida” y el programa “Casa para Todos” en los que impulsan proyectos de vivienda de interés social.

2.4.1. Vivienda de Interés Social

La vivienda de interés social – VIS es una vivienda adecuada y digna destinada a personas de escasos recursos económicos y/o en estado de vulnerabilidad, grupos de atención prioritaria. La población beneficiaria de este tipo de viviendas así como los procesos, financiamiento y requisitos para su obtención se controlarán periódicamente por los entes implicados, de inclusión económica y social - hábitat y vivienda (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo, 2019).



Estas se construyen en suelo urbano donde su infraestructura esté al alcance de los servicios básicos y necesarios, tanto recursos y espacios públicos, áreas verdes y recreativas como el acceso al transporte público y movilidad, destacándola como un componente dependiente de la integración socio-espacial, sin fines comerciales por lo que se prohíbe enajenar (MIDUVI, Lineamientos mínimos para revisión y validación de tipologías vivienda, 2018).

2.4.2. Tipología y materialidad

2.4.2.1. Directrices: (MIDUVI, Lineamientos mínimos para revisión y validación de tipologías vivienda, 2018)

Los proyectos de VIS son considerados y aprobados por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda – MIDUVI, seguido del análisis de la Subsecretaría pertinente, y resueltos por la Cartera del Estado.

Las viviendas poseen una superficie de construcción mínima de 49 m² aquellas edificadas con anterioridad con una extensión menor son aptas para el bono de ampliación de vivienda.

Las características de diseño y funcionalidad están basadas en torno al diseño universal adoptado de tipología de vivienda, contemplando aspectos geográficos, climatológicos, suelos y entorno social-cultural.

El espacio de construcción está determinado por el número de miembros de la familia y su necesidad de convivencia digna garantizando la sostenibilidad e institucionalidad.

La Ilustración 6 corresponde al segmento tipo I de la vivienda de interés social del MIDUVI.

Ilustración 6: Vivienda de interés social del MIDUVI correspondiente al segmento I.



Toda construcción presentada al MIDUVI consta de los requisitos mínimos en el ámbito de arquitectura e ingenierías.

2.4.2.2. Diseño Arquitectónico:

El diseño arquitectónico considerará los lineamientos mínimos expuestos a continuación:

Tabla 1: Lineamientos mínimos del diseño arquitectónico de viviendas del MIDUVI.

Lineamientos mínimos del Diseño Arquitectónico			
Vivienda	Aspectos	Lineamientos	Valores mínimos
Vivienda en general	Ubicación Geográfica	Se considera el emplazamiento: Costa, Sierra y Oriente.	
	Espacios	Mínimo: 1 baño, zona de lavado y secado, cocina, comedor-sala, 2 dormitorios.	
	Superficie mínima	De 49 m ² , sin considerar áreas verdes y circulaciones exteriores.	
	Planos y construcción	Con elementos a proyecciones futuras, si es el caso.	
	Iluminación y Ventilación	En caso de no poseer se obtiene de forma artificial.	Valor mínimo del área de las ventanas: 20% y 6%, respectivamente.
	Aislamiento térmico y acústico	Indispensable si se trabaja con cubiertas metálicas y la conexión entre los niveles de la edificación.	



Lineamientos mínimos del Diseño Arquitectónico			
Vivienda	Aspectos	Lineamientos	Valores mínimos
	Acabados	Externos e Internos: Pisos, paredes, entrepisos como cubierta. Con materiales antideslizantes, resistentes y estables a las condiciones del entorno.	
	Servicios sanitarios	Número de aparatos necesarios. Zonas con riesgo a humedad e infiltración, cubrir con material de superficie hidrófuga, incluso en áreas de lavado.	Distancia mínima: 0.10 m entre piezas y 0.15 m pared y pieza
	Ventanas		Acrilamiento con espesor mínimo: 4mm.
Vivienda estándar	Dormitorios		Longitud mínima: 2.20 m.
	Piso acabado hasta el interior del tumbado		Altura libre: Costa y Oriente: 2.50 m. Sierra: 2.30 m
	Techos inclinados		Altura mínima: 2.10 m
	Puertas	Tanto internas como externas.	Ingreso de la vivienda: 0.90 m. Interiores: 0.80 m. Baño: 0.70 m.
	Escaleras		Ancho mínimo de huella: 0.28 m, Altura máxima de la contrahuella: 0.18 m. Ancho mínimo de sección: 0.90 m.
Edificaciones	Escaleras		Ancho y altura similar a vivienda estándar. Ancho mínimo de sección: 1.20 m.
Viviendas para personas con discapacidad	Puertas	Externas e Internas	Ancho mínimo: 0.90 m. Altura: 2.05 m.
	Rampas para la circulación		Ancho entre pasamanos: 1.20 m. Pendiente: 12% Superficie de giro: 1.50 m.
	Sanitarios	Para adecuación regirse a la Norma INEN 2293.	

Fuente: (MIDUVI, 2018)

2.4.2.3. Diseño Estructural: (MIDUVI, 2018)

El diseño es realizado por un ingeniero civil certificado con base en la NEC vigente, en caso de no existir algún método constructivo se recurre a la Normativa Internacional con su respectiva citación.



La memoria técnica incluye los datos de entrada, cálculos, resultados del software de modelación y simulación tanto de la estructura como de la cimentación en cumplimiento de todos los parámetros del sistema constructivo previstos en la NEC. El análisis consiste en la determinación de los coeficientes de amplificación de la zona según el tipo de suelo, espectro sísmico y control de derivas en ambos sentidos, además se asume la capacidad portante del suelo en función del sitio.

2.4.2.4. Diseño Eléctrico: (MIDUVI, 2018)

El diseño está a cargo por ingenieros eléctrico, civiles certificados garantizando calidad tanto en materiales como en ejecución del sistema.

El diseño comprende como mínimo circuitos de: puntos de iluminación; puntos de tomacorrientes para distintos aparatos; circuitos bien dimensionados para 220 V, si llegara a existir cocina de inducción se requería de uno independiente; para el punto de calentamiento de agua, los circuitos serán independientes y dimensionados entre 110 V – 220 V dependiendo del tipo de calentador eléctrico, y alimentador. En los rubros de estos circuitos se deberá especificar: el tipo y diámetro de la tubería, y el tipo, número y calibre de conductores.

Asimismo, en los rubros se incluye: tablero metálico o centro de carga; sistema monofásico a 3 hilos 220/110 V con su respectiva capacidad para los breakers, e instalación de tablero medidor según las Normas de la CNEL para una vivienda sola o multifamiliar, con conexión a tierra debidamente dimensionada.

2.4.2.5. Diseño de Ingeniería Hidrosanitaria: (MIDUVI, 2018)

El diseño se rige en las Normas NEC (EX – IEOS) considerando las tipologías de vivienda del MIDUVI y se realizará por ingenieros civiles, sanitarios calificados profesionalmente.

Los sistemas de agua potable y saneamiento son presentados por separado de tal manera que, la red de agua potable tendrá su respectiva acometida, puntos de consumo y accesorios mientras que



la red de aguas residuales determinará el diámetro de la tubería en base a los requerimientos de la NEC.

El diseño incluye la caja de revisión de aguas servidas de sección mínima interna 60 x 60 x 60 cm, rejillas en las áreas requeridas y accesorio de teléfono en la ducha con una manguera de 1.20 m.

2.4.3. Análisis de costos

Las tipologías de casas de interés social del MIDUVI varían según sus costos por lo que están clasificadas por segmentos: (MIDUVI, 2018)

Tabla 2: Clasificación de viviendas de interés social del MIDUVI.

Vivienda	Segmento I	Segmento II	Segmento III
Modalidad de adquisición	Subsidiada en su totalidad por el Estado	Subsidiadas en parte por el Estado, partiendo de un monto de USD 6000. Dos modalidades: con crédito hipotecario y de arrendamiento con opción a compra.	Subsidiadas en la tasa de interés del crédito hipotecario.
Beneficiarios	Personas vulnerables y/o en situación de pobreza extrema.	Núcleos familiares cuya vivienda sea primera y única.	Personas que puedan acceder a un préstamo y realizar el pago de las cuotas mensuales.
Costo	Desde 34.26 hasta 57.56 SBU.	Con crédito hipotecario desde 57.56 hasta 101.52 SBU. Arrendamiento con opción a compra hasta 57.56 SBU.	Desde 101.52 hasta 177.66 SBU.
Modalidad de construcción	Vivienda nueva en terreno propio y en terreno urbanizado, dentro del Programa Casa para Todos, en coordinación con el MIDUVI.	Viviendas desde 57 m ² de 3 dormitorios en terreno urbanizado.	Viviendas en terreno urbanizado.

Fuente: (MIDUVI, 2018).

La Ilustración 7 representa la vivienda de interés social del segmento II del MIDUVI emplazada en terreno urbanizado.



Ilustración 7: Vivienda del segmento II del MIDUVI.



Fuente: (MIDUVI, 2020)

La Ilustración 8 muestra el tipo de vivienda perteneciente al segmento III del MIDUVI.

Ilustración 8: Vivienda del segmento III del MIDUVI.



Fuente: (MIDUVI, 2020)



2.5. Confort Térmico

Según la norma INEN-ISO 7730 el confort térmico “*es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico*”.

Es fundamental el equilibrio térmico entre el calor ganado al interior de la vivienda y el perdido tanto en los elementos constructivos como por ocupación, equipos, incidencia solar para que exista confort térmico. Las variables que nos permiten evaluar la sensación térmica involucran las condiciones meteorológicas tanto del lugar como dentro de la vivienda, la vestimenta habitual y la tasa metabólica (Castejón, 1983).

La NEC-HS-EE - (2018)- Normativa Ecuatoriana de la Construcción, Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales, establece que para que exista confort térmico en el interior, las edificaciones deben mantenerse en los siguientes rangos: Temperatura del aire, ambiente entre 18 y 26 °C, Temperatura radiante media de superficies del local entre 18 y 26 °C, Velocidad del aire entre 0.05 y 0.15 m/s, Humedad relativa entre el 40 y 65%.

Según Hidalgo (2018) la temperatura de confort al interior de una edificación se encuentra relacionada directamente con la temperatura promedio del sitio de emplazamiento, bajo este concepto existen varios modelos denominados “adaptativos” que sirven para determinar la temperatura neutral o de confort. Uno de los modelos utilizados se expresa mediante la ecuación (1) y su resultado según los autores está en un rango de $\pm 2^\circ\text{C}$ para obtener condiciones confortables:

$$T_{confort} = 13.5 + 0.54T_{exterior} \quad (1)$$

Siendo $T_{exterior}$: la temperatura del aire ambiente del sitio de emplazamiento.



2.5.1. Análisis de percepción social

El estudio del bienestar y calidad de vida de los usuarios al interior de una vivienda es fundamental para obtener una visión clara de la percepción social con respecto a las VIS, por ende, actuar en la adecuación de los elementos constructivos en sus propiedades térmicas.

Existen diferentes mecanismos para la evaluación de la comodidad higrotérmica, sin embargo, la mayor parte de estos métodos no involucran en su proceso todas las variables tanto ambientales como humanas que nos permitan obtener datos reales del confort térmico, resultando ineficiente en un caso práctico. En el campo laboral se utiliza con frecuencia la Metodología de Fanger por ser una de las más viables y completas.

2.5.1.1. Sensación Térmica por el Método de Fanger

El Método de Fanger fue propuesto por el proyecto “Thermal Comfort” de P.O Fanger en 1970, este procedimiento incluye variables del entorno como nivel de actividad, combinaciones habituales de ropa, temperatura radiante, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento con el fin de valorar la sensación térmica (Castejón, 1983).

El método determina a través de ecuaciones que contienen las variables antes mencionadas el voto medio estimado, PMV y el porcentaje de personas insatisfechas, PPD; asumiendo si el entorno es ambientalmente adecuado y la cantidad de personas están cómodas con esta situación.

2.5.1.1.1. Índices de Fanger

El voto medio estimado expresa la sensación de los usuarios de la edificación frente a las condiciones térmicas basado en una escala de 7 niveles, donde se asume que un ambiente es adecuado cuando este entre el intervalo de -0.5 y 0.5 (Castejón, 1983).



El porcentaje de personas insatisfechas se refiere a la cantidad de personas que reflejan ausencia térmica en el entorno, está relacionado directamente al PVM. Si su valor supera el 10% se considera como falta del confort térmico (Castejón, 1983).

En la Tabla 3 se observa la escala de sensación térmica en función del voto medio estimado según la norma ISO 7730.

Tabla 3: Escala de sensación térmica en función del PMW.

PMW	Sensación Térmica
+3	Muy caluroso
+2	Caluroso
+1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente Fresco
-2	Fresco
-3	Frío

Fuente: (NTE INEN-ISO 7730, 2014).

2.5.1.1.2. Limitaciones del Método

Las limitaciones del método de Fanger están en base a la Norma ISO 7730, con el objetivo de no exceder los resultados de las variables de -2 y 2, pues está enfocado en ambientes térmicos dentro del intervalo (Diego-Mas, 2015).

Tabla 4: Límites de las variables del Método de Fanger ISO 7730.

Limitaciones	Rango	Unidades
Tasa Metabólica	46 - 232	W/m ²
Combinación de vestimenta	0 - 2	clo
Temperatura del aire	10 - 30	°C
Temperatura radiante	10 - 40	°C
Velocidad del aire	0 - 1	m/s



Limitaciones	Rango	Unidades
Presión del vapor de agua	0 - 2700	Pa

Fuente: (NTE INEN-ISO 7730, 2014).

2.5.1.1.3. Variables del Método Fanger: (Diego-Mas, 2015)

a) Tasa metabólica en función de la actividad realizada

La tasa metabólica mide la energía generada por un individuo al momento de realizar actividad, un porcentaje de este gasto energético es utilizado para la acción mientras que el resto se transforma en calor.

El valor de la tasa metabólica puede calcularse en base a normativas como: ISO 8996, según la profesión; ISO 7730 YINSHT – NTP 323, según el tipo de actividad, y INSHT – NTP 323, según el componente de tarea. Generalmente la tabla más dinámica corresponde a la norma ISO 8896.

Tabla 5: Valores adoptados para la Tasa Metabólica en función de la norma ISO 8896.

Clase	Tasa Metabólica W/m ²
Reposo	65
Tasa metabólica baja	100
Tasa metabólica moderada	165
Tasa metabólica alta	230
Tasa metabólica muy alta	>260

Fuente: (Diego-Mas, 2015)

b) Características del aislamiento de ropa

Para la aplicabilidad del método es necesario conocer el nivel de aislamiento producido por la vestimenta, por lo que se recomienda analizar las combinaciones habituales del usuario. Su



unidad de medida es $m^2.K/W$ o clo (clothes). Se puede calcular en distintos softwares según las normas.

Tabla 6: Aislamiento de ropa en clo según la norma INSHT - NTP74.

Combinación de vestimenta	Aislamiento (clo)
Desnudo	0
Ropa Ligera - verano	0.5
Ropa media – traje completo	1
Ropa pesada – uniforme militar en invierno	1.5

Fuente: (Diego-Mas, 2015)

c) Condiciones Meteorológicas del sitio

Se puede obtener las variables térmicas de la zona mediante la recopilación directa de los datos a través de aparatos o ficheros climáticos simulados en software.

- 1. Temperatura del aire:** es la temperatura del ambiente externa a la zona de estudio (edificación), su unidad de medida es $^{\circ}C$.
- 2. Temperatura radiante:** es la temperatura efecto de la incidencia solar sobre la superficie de los elementos constructivos, medida en $^{\circ}C$.
- 3. Humedad relativa:** humedad del sitio en %.
- 4. Velocidad de viento:** velocidad del viento al interior de la vivienda en m/s.

2.6. Propiedades Térmicas de los materiales

2.6.1. Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad importante en los materiales al considerar la renovación o implementación de sistemas de calentamiento o enfriamiento que optimicen el confort térmico al interior de la edificación o a su vez mantengan la temperatura idónea de los cuerpos,



está representada por la letra (k) y su valor se determina por la velocidad de calor que pasa hacia el elemento, por lo que el material al poseer baja conductividad térmica tiende a ralentizar la toma de temperatura del entorno y transmitirla, mientras que a valores altos sucede lo opuesto. Su unidad de medida según el S.I. es Watts por metro por grado Kelvin ($W/m.K$) (Thermtest, 2020).

La conductividad térmica se determina comúnmente con la ecuación de Fourier, esta ecuación (2) y (3) está dada por: (Mena-Novelo, Un-Aragón, J.E. Corona, & Oliva, 2015)

$$Q = -k \cdot A \cdot \left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right) \quad (2)$$

$$k = -\frac{Q \Delta x}{A \Delta T} \quad (3)$$

Donde:

Q = es el flujo de calor que atraviesa la pared del material.

A = área transversal al flujo de calor.

ΔT = diferencia de temperaturas entre las paredes del material.

Δx = espesor de la pared del material por el que atraviesa el flujo de calor.

2.6.2. Transmitancia térmica

Indica el flujo de calor transmitido y distribuido a la superficie del elemento constructivo por el o los materiales que lo conforman, se identifica con la letra U y se expresa en $W/m^2.K$. Su resultado implica las propiedades térmicas, espesor y diferencia de temperaturas adoptadas. Su valor se obtiene con la siguiente ecuación (4): (Moreno, 2011)

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$



Siendo:

U: transmitancia térmica superficial total del elemento constructivo ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)

R_T : resistencia térmica total del elemento constructivo ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)

2.6.3. Calor específico

El calor específico de una sustancia se evalúa por la cantidad de calor absorbido por la masa necesaria para elevar en una unidad ($1^\circ C$) la temperatura del material, por lo que involucra su estructura interna y su valor, características difiere del resto de masas. De acuerdo al S.I se expresa en $J/(kg)$ o $J/(kg \cdot ^\circ C)$ (Jimenez, 2018).

2.7. Puente Térmico

Un puente térmico son aquellas zonas específicas donde se transmite el calor o flujos de aire con mayor facilidad, pues se generan en aberturas de los elementos constructivos como ventanas, puertas, techos, fachada, etc. Estas discontinuidades representadas en puntos y/o líneas afectan a la hermeticidad disminuyendo el rendimiento del aislamiento térmico, produciendo un puente térmico en la envolvente presentada (Moreno, 2011).

2.8. Simulaciones Energéticas en edificaciones

Las simulaciones energéticas en edificaciones son indispensables y su uso es mundialmente recomendado para quienes deseen construir o alterar tanto paquetes como elementos constructivos priorizando la sustentabilidad, tanto en el desempeño térmico energético como en la sensación percibida por los usuarios. A través de las útiles herramientas que oferta el programa se puede diseñar el modelo conforme a los periodos más desfavorables de retorno, como semana o día de invierno y verano, permitiendo elegir la orientación, materiales y geometría que suplan las necesidades del caso (Núñez et al., 2017).



El análisis computacional del rendimiento energético en construcciones nuevas se recomienda en la etapa inicial del proyecto, es decir durante el diseño y modelado para controlar el comportamiento a futuras incomodidades higrotérmicas y optar por el valor óptimo de variables influyentes y reducir el gasto en sistemas de calefacción y ventilación (Greengroup, 2021).

Además es una poderosa herramienta que nos permite construir nuevas edificaciones o a su vez remodelarlas, basados en la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental a través de programas que mediante variables de entrada como modelado 3D, condiciones geométricas y tipológicas, clima exterior y materiales constructivos nos permite obtener una evaluación realista del comportamiento térmico del edificio y distintos beneficios con respecto al confort ambiental y social (Montiel et al., 2020), (Garzulino, 2020).

2.8.1. Ficheros Climáticos obtenidos en Meteonorm

El programa Meteonorm fue desarrollado por Jan Remund y Stefan Kunz de Meteotest – Suiza, proyecto financiado por la oficina federan de energía de Suiza, el programa tiene varios años de experiencia en la creación de ficheros meteorológicos para aplicaciones de energía. (Ducoy, 2011)

Acorde con Ducoy (2011) es de manejo accesible que incorpora catálogos de datos meteorológicos de cualquier lugar del mundo, el objetivo principal del software es calcular la radiación solar incidente en cualquier zona geográfica, de este modo implemento parámetros adicionales como: temperaturas de rocío, temperatura de bulbo húmedo, nubosidad, radiación infrarroja, iluminancia, presión atmosférica, grados día de calentamiento, velocidad y dirección del viento.

Meteonorm tiene una base de datos respaldada por más de cinco satélites geoestacionarios y ocho mil estaciones meteorológicas mediante las cuales se puede llenar vacíos de datos



meteorológicos donde no existen estaciones disponibles, el programa usa datos de proximidad, en caso de haber este se encarga de extrapolar valores de lugares con iguales características siendo estos valores confiables en cualquier parte del mundo. (Castañeda, Cadenas, Heras, & Dominguez, 2018)

Características de Meteonorm: (Ducoy, 2011)

- Datos climáticos de todo el mundo
- Uso de satélites para lugares con poca densidad de estaciones meteorológicas
- Interpolación de datos para cualquier lugar del mundo
- Generación de datos concretos en base a su ubicación

2.8.2. DesignBuilder

Existe una variedad de programas que realizan simulaciones energéticas, como DesignBuilder, Ecotect o Trnsys con la inclusión de estrategias en el diseño a través de la introducción de distintas envolventes, dando valores absolutos de demandas, de consumos y emisiones de CO₂, por otro lado, LIDER O CALENER es de validación, ya que compara entre los distintos escenarios planteados, el de consumo real y el que contiene aislante.

DesignBuilder es un programa de simulación energética de fácil manejo que permite a los usuarios obtener el rendimiento ambiental de una edificación a través del ingreso de variables y el modelado virtual de la misma en 3D, o a través del uso de las plantillas existentes, con la finalidad de generar alternativas viables en cada etapa de la construcción, ya sea en el diseño o evaluación, de esta manera se podrá optimizar la respuesta térmica y considerar cambios en aspectos como geometría, materiales, ubicación, sombreado entre otros (DesignBuilder, 2019).



Liapopoulou & Theodosiou (2020) menciona que DesignBuilder emplea plantillas de actividad como fuente de datos para el uso del modelo en análisis; y que cubren conceptos de ocupación, uso de equipos, temperaturas internas de diseño adecuadas, niveles de iluminancia, y tasas de ventilación por persona.

El software se encarga de analizar aspectos como el confort térmico, ganancias internas por ocupación e incidencia solar, balance térmico, heating design, cooling design, consumos de energía y emisiones de CO₂ por distintas fuentes que sean seleccionadas al momento de configurar según los parámetros requeridos en la simulación.

Sus beneficios son múltiples al momento de remodelar o diseñar un nuevo o futuro proyecto, pues sus herramientas nos permiten obtener resultados de calidad que certifiquen el comportamiento térmico energético.

A continuación se describen las principales características de DesignBuilder tales como estructura modular, proceso, parámetros básicos y variables resultantes correspondientes a la simulación, acorde a García (2014).

2.8.2.1. Estructura Modular: (García, 2014)

El software cuenta con 8 módulos entre modelado geométrico, renderizado, análisis y motor de cálculo.

Módulo de Visualización: comprende la interfaz gráfica donde se podrá observar el modelo renderizado, con texturas configuradas en los paquetes constructivos de cada elemento. Además, contribuye en el entendimiento de la incidencia y recorrido solar tanto horario como mensual, permitiendo conocer que lugares están influenciados parcial o directamente con energía solar externa y la distribución de esta en la zona interna.



Módulo EnergyPlus: este incluye el motor de cálculo de EnergyPlus, en el cual se podrá desarrollar instantáneamente las simulaciones térmico - energéticas de las envolventes, con los resultados según el formato elegido empleando Weather Data cargados de plantilla, introducción manual, o ficheros climáticos así como cálculos de sistemas HVAC.

Módulo de Iluminación Natural: este módulo es muy significativo ya que aporta mapas en los que se puede identificar con claridad las zonas que están recibiendo una iluminación adecuada natural y aquellas en las que se requiere implementación artificial a través de la cantidad de lux o daylight factor, además de verificar y mejorarlas zonas donde pueden surgir daños por excesiva incidencia solar.

Módulo Coste: permite la evaluación de costos generados por materiales de construcción, ciclo de vida, consumo de energía y la implicación en el aspecto económico del desempeño térmico – energético en consideración de los aspectos ambientales.

Módulo HVAC: indica un análisis e interpretación de diferentes diseños de sistemas tanto de calefacción como refrigeración y ventilación en trabajo conjunto con EnergyPlus y las condiciones Weather Data cargadas, además de poder detallar todas las características faltantes del modelo. Con referencia en la norma ASHRAE para sistemas de certificación.

Módulo Optimización: ofrece un análisis exacto y consistente de los resultados de la simulación del modelo en aspectos de costos, confort y balance térmico, y consumo energético requerido utilizando todas las variables en los algoritmos más avanzados aportando en la mejoría del rendimiento.

Módulo LEED: demuestra el cumplimiento, a través de una serie de funciones, del consumo energético del sistema de certificación LEED en función de la norma ASHRAE.



Módulo CFD: la dinámica computacional de fluidos permite obtener las propiedades de fluidos incluidos en un ambiente, así como determinar de forma idónea el movimiento de aire y la distribución de temperaturas al interior de la vivienda por cada espacio del bloque.

2.8.2.2. Parámetros Básicos de configuración para la Simulación

En la Tabla 7 se detalla los parámetros básicos de configuración para la simulación en DesignBuilder, los parámetros no expuestos se pueden desactivar, dejarlos por defecto, cambiar manualmente, según la necesidad del operador.

Tabla 7: Parámetros Básicos de configuración en DesignBuilder.

Parámetros	Descripción	Unidad
Infiltración	Cantidad de aire (volumen) que circula, ingresa o sale, en una vivienda cada hora.	renov/h o ac/h
Horarios de Ocupación:	De acuerdo a la estancia del usuario en la vivienda se puede configurar manualmente o señalar plantillas existentes.	
Densidad de ocupación	Relación del número de usuarios y la superficie de cada espacio o de toda la vivienda.	personas/m ²
Mínimo de aire fresco	Cantidad de aire requerido por los usuarios, calculado según los requerimientos de la NEC-EE, en consideración a los espacios cerrados.	l/s/persona
Vestimenta	Combinaciones habituales de ropa según las condiciones de la zona y/o actividad.	clo
Tasa Metabólica	Gasto energético generado por el usuario respecto a un nivel y tipo de actividad.	W/m ² o met

Elaboración: Autores, 2021.

2.8.2.3. Variables resultantes obtenidas de la Simulación

En la Tabla 8 se puede observar todas las variables y aspectos básicos que se obtiene resultado de la simulación en DesignBuilder. En el software existe una infinidad de opciones que se puede seleccionar según la necesidad del operador.



Tabla 8: Variables resultantes de la Simulación de DesignBuilder.

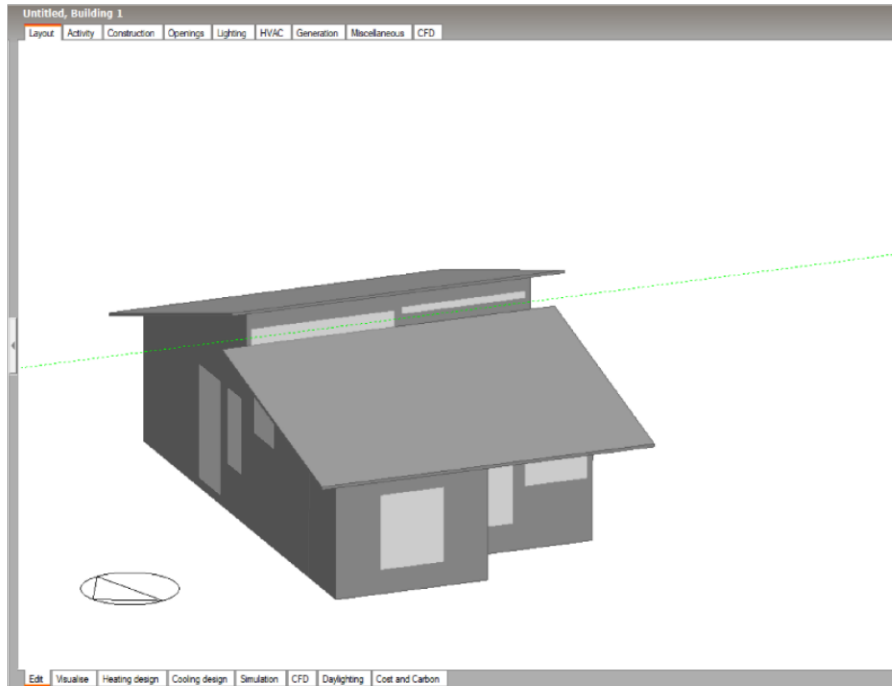
Variables	Descripción	Unidad
Temperatura del aire	Temperatura ambiente promedio de la zona de estudio.	°C
Temperatura radiante:	Temperatura promedio resultado de la incidencia solar sobre la superficie.	°C
Temperatura de bulbo seco	Temperatura del aire húmedo. De -70 a 70 °C.	°C
Temperatura de punto de rocío	Temperatura a la cual se condensa el vapor de agua convirtiéndose en neblina, granizo, rocío, etc.	°C
Humedad relativa	Relación entre la presión del vapor de agua y la presión del vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad. De 0 a 100%, valores superiores e inferiores activan el sistema de humidificación.	%
Fanger	Medidor de la sensación térmica obtenido en índices PMV Y PPD, en función de la Norma ISO 7730.	PPD: %
Daylight Factor	Mapa de luz natural diurna donde se observa la incidencia solar para un corte horizontal a través de toda la vivienda.	Valores: Iluminación: lux Factores: %
Ganancias internas	Indica la cantidad de calor ganado al interior y exterior de la vivienda por radiación solar en ventanas, iluminación artificial, calor por ocupación y equipos.	Wh/m ²
Balance Térmico	Demuestra las pérdidas y ganancias en la vivienda tanto de elementos constructivos como factores naturales.	Wh/m ²
Confort Térmico	Se observa parámetros necesarios para evaluar la sensación térmica y la temperatura ambiente al interior para deducir si existe comodidad.	Temperaturas: °C Humedad Relativa: % PPD PMV

Elaboración: Autores, 2021.

2.8.2.4. Proceso para la Simulación

1. Modelación del proyecto en la ventana de Layout, se puede conformar por uno o varios bloques dependiendo el caso, además se puede realizar bloques de componentes para elementos donde únicamente se desee dar función de sombra.

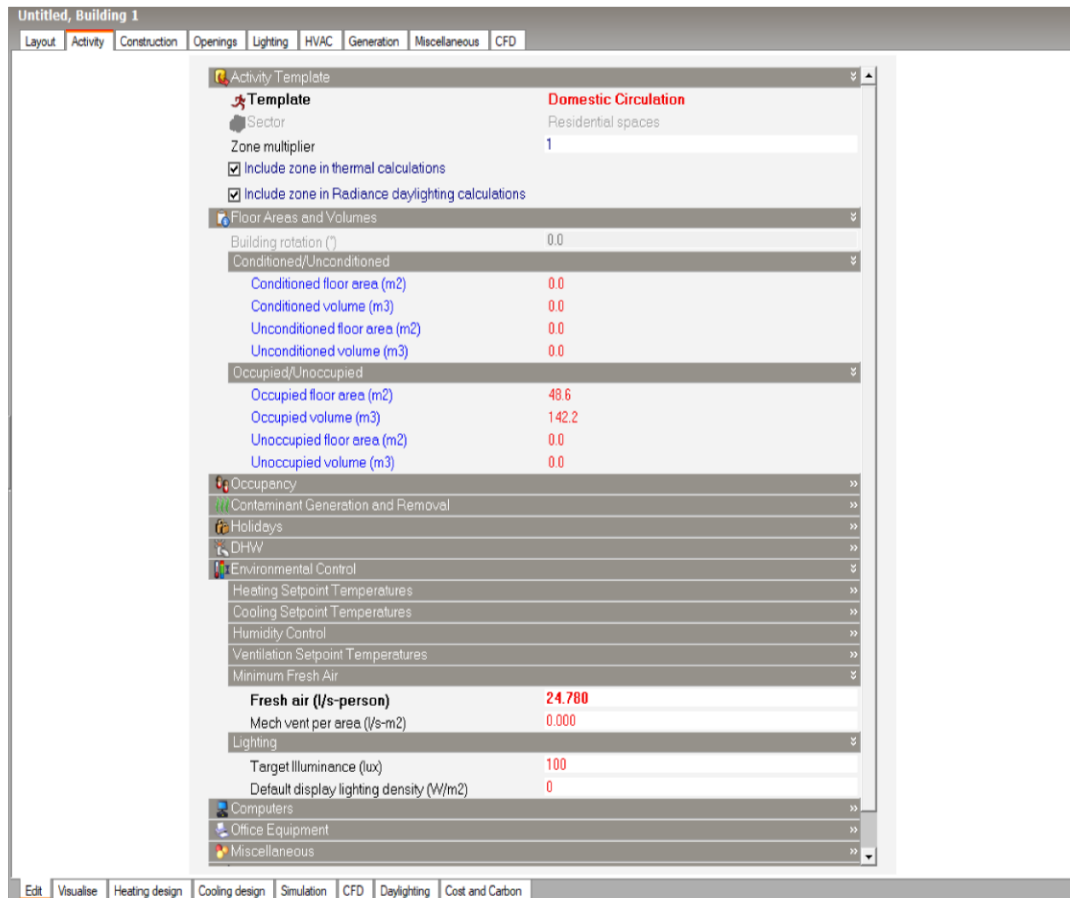
Ilustración 9: Modelación del proyecto en la pestaña Layout.



Elaboración: Autores, 2021.

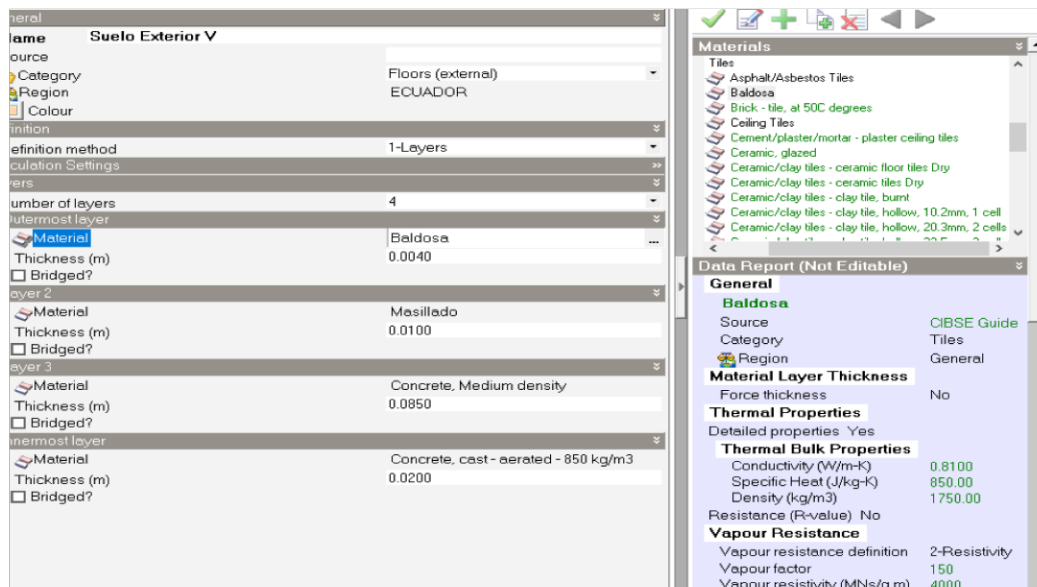
2. En la pestaña de Actividad definir los parámetros ya sea con el uso de plantillas o datos previamente calculados como la densidad ocupacional, aire fresco requerido, infiltración, horario de ocupación, iluminación y definición de la zona, algunos de estos en base a los requerimientos de la NEC –EE.

Ilustración 10: Variables de entrada en Actividad.



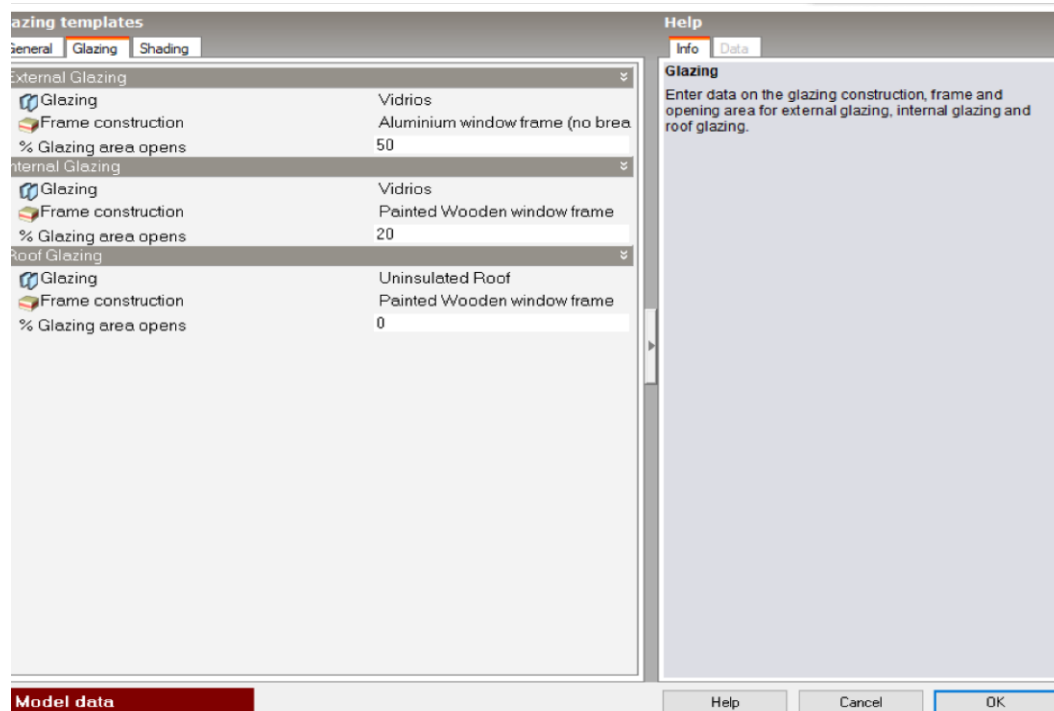
3. En Cerramientos detallar las propiedades térmicas de los materiales empleados en los paquetes constructivos de las envolventes generadas.

Ilustración 11: Ventana para definir espesores y propiedades de los materiales del elemento constructivo.



4. En la pestaña de Aberturas configurar el vidrio a utilizarse en las zonas de las ventanas además colocar el porcentaje de apertura al día de puertas y ventanas.

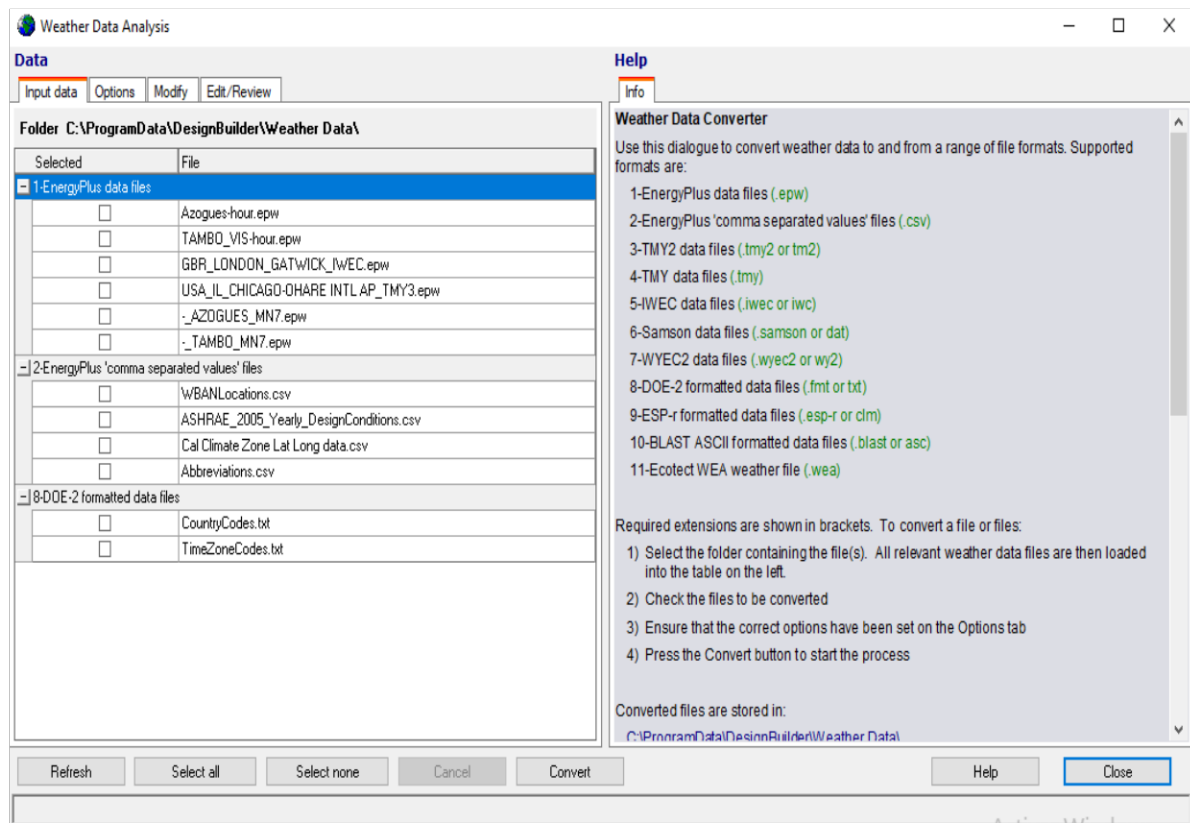
Ilustración 12: Ventana para configurar el acristalamiento.





5. Configurar en las pestañas según se solicite la iluminación necesaria (Iluminación), HVAC Y CFD.
6. Para proceder a la simulación de debe cargar el fichero climático dirigiéndose a la opción Tools seguido de Hourly Weather Data donde aparecerá una ventana en donde se cargará el archivo de formato horario epw haciendo clic en la opción de disco C y luego refresh.

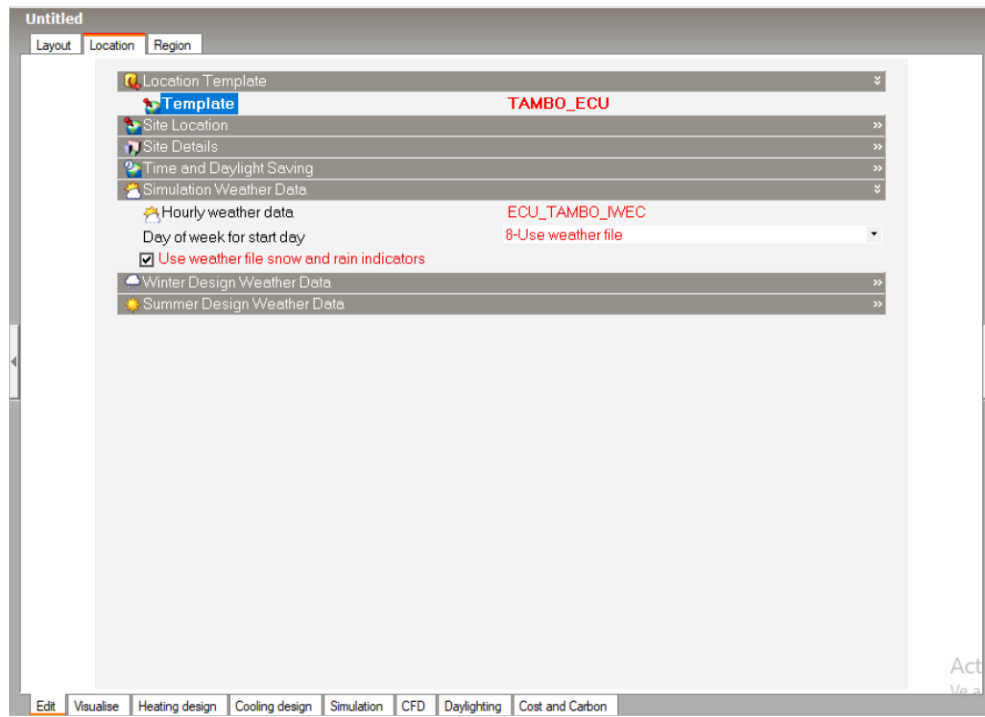
Ilustración 13: Ventana de análisis de datos climáticos para cargar el fichero.



7. Dirigirse a datos del sitio y subir el documento generado en el paso anterior fuente MN7.



Ilustración 14: Ventana de datos del sitio, fuente MN7, para la simulación.



CAPÍTULO III

3. METODOS Y PROCESOS

3.1. Simulaciones Energéticas con DesignBuilder

La investigación ha analizado teórica y experimentalmente el desempeño energético de una construcción de interés social utilizando modelos generados en el software de simulación térmica DesignBuilder. Para ello se simuló el rendimiento energético de la vivienda existente, conocido como modelo de línea base el cual representa la condición real del sistema constructivo.

Con el fin de obtener información real de las características térmicas de la envolvente del edificio, los datos se recopilaban físicamente mediante inspección de campo. Las Ilustraciones 15 y 16 muestran la visita de campo realizada a la VIS por las autoras.

Ilustración 15: Visita de campo a la VIS.





Ilustración 16: Vivienda de Interés Social de estudio.



Además, para evaluar el confort térmico se incluyó un análisis de percepción social mediante encuestas directas a los usuarios de vivienda utilizando el método de Fanger, véase Ilustración 17.

Ilustración 17: Llenado de encuesta a los usuarios de la VIS.



Los datos recogidos tanto como configuración geométrica, materiales de construcción, horarios de operación y ocupación se utilizaron para crear y desarrollar las simulaciones en Energy Plus v7.0 y así verificar el rendimiento energético de las envolventes.

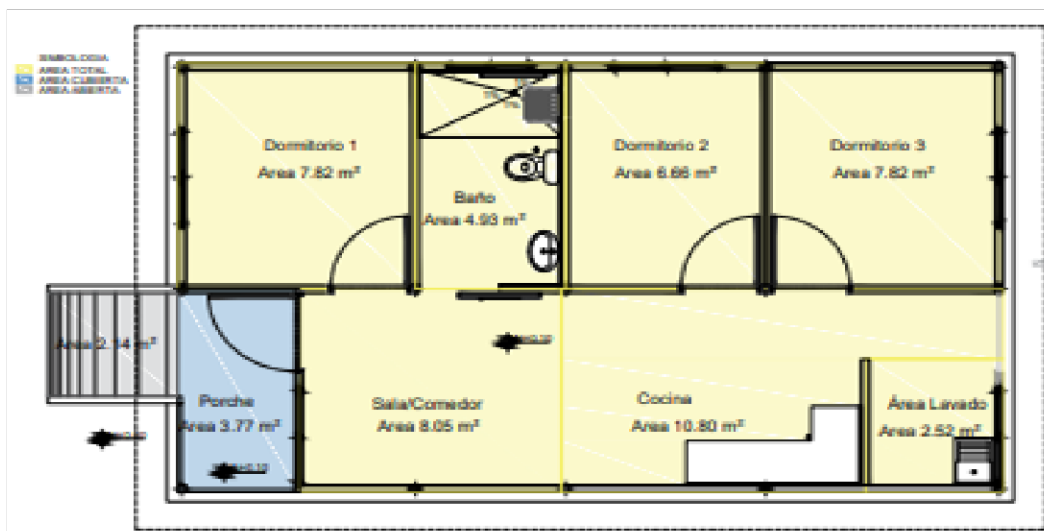
3.1.1. Descripción del caso de estudio

Para el caso de estudio se analizó una vivienda de interés social (VIS) ubicada en el cantón Tambo, seleccionada mediante un muestreo no probabilístico; perteneciente a la provincia del Cañar. Esta localidad corresponde a un clima frío ecuatorial de alta montaña. La vivienda modelada consta de un nivel de ocupación media, terminada en 2018, a una latitud de -2.5°N y longitud -78.9°E . Su orientación es 21° en la dirección norte-este.

La vivienda tiene una superficie útil de 48.6 m^2 y es de construcción estándar, con paredes externas e internas de bloque de hormigón de 100 mm, ventanas de un solo acristalamiento de 4mm, cubierta de fibrocemento, puertas de madera de distintas dimensiones y el piso está conformado por un replantillo de hormigón $f'c$ de 140 kg/cm^2 , una losa de cimentación $f'c$ de 210 kg/cm^2 y un recubrimiento con cerámica nacional.

En la Ilustración 18 se observa la vista en planta; en la Ilustración 19, la fachada frontal y posterior, y en la Ilustración 20, la fachada lateral izquierda y derecha de la vivienda en estudio.

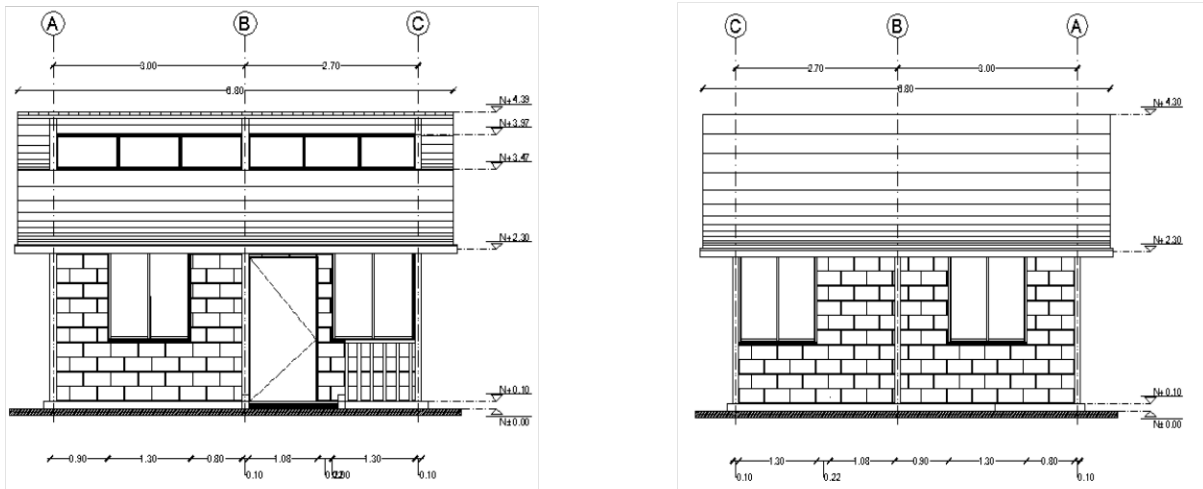
Ilustración 18: Vista en planta de la Vivienda de Interés Social.



Fuente: Obtenido del GAD Municipal del cantón El Tambo.

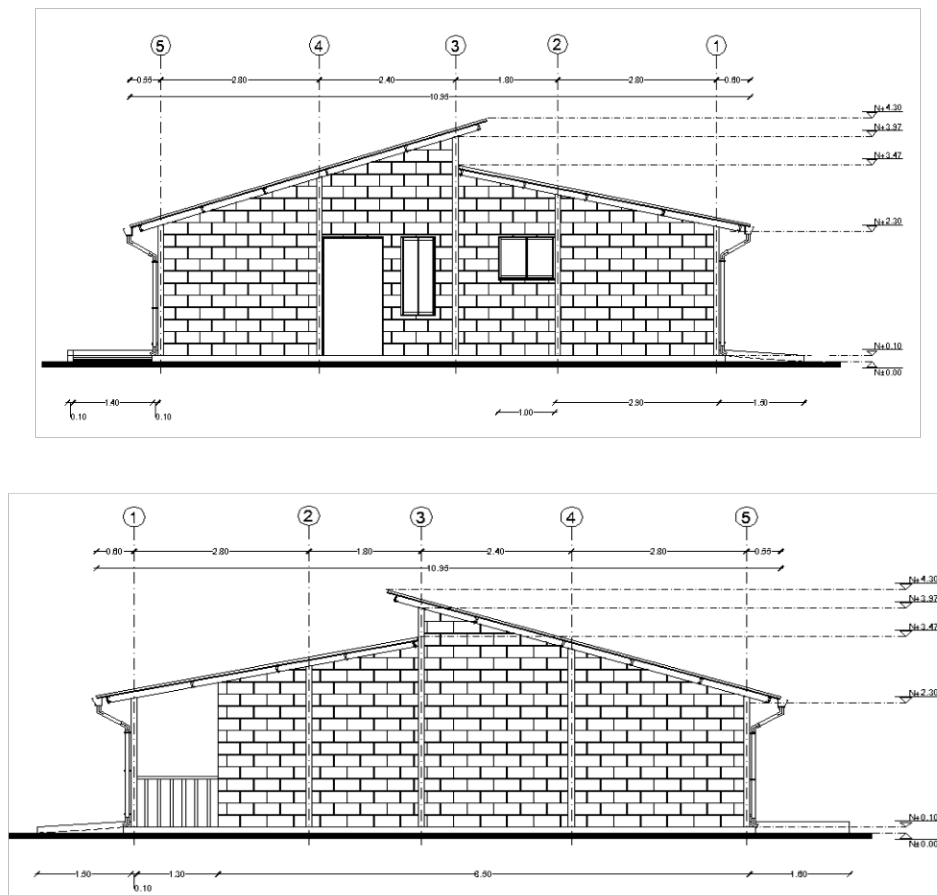


Ilustración 19: Vista frontal y posterior de la Vivienda de Interés Social.



Fuente: Obtenido del GAD Municipal del cantón El Tambo.

Ilustración 20: Vista lateral derecha e izquierda de la Vivienda de Interés Social.



Fuente: Obtenido del GAD Municipal del cantón El Tambo.



3.1.2. Encuesta de sensación térmica por el método de Fanger

El confort térmico percibido por los usuarios fue valorado mediante la aplicación de una encuesta realizada por los autores de la investigación, en la que se detalla preguntas necesarias para la valoración de PMV (voto medio previsto) y PPD (porcentaje de población de insatisfechos) en la escala de sensación térmica. En la Tabla 9 se detalla la tabulación de las encuestas realizadas a los usuarios de la vivienda.

Tabla 9: Tabulación de las encuestas a los usuarios de la vivienda.

Preguntas	Papá	Mamá	Hija	Hijo
Edad	46	30	16	13
Género	Masculino	Femenino	Femenino	Masculino
Lugar de nacimiento	Suscal	Pacay	El Tambo	El Tambo
Estado civil	Casado	Casado	Soltero	Soltero
Miembros de la familia	6	6	6	6
Trabaja	Si	Si	No	No
Actividad	Agricultor	Agricultor	Ama de casa	Estudiante
Tiempo de residencia – años	2	2	2	2
Materiales de piso	Hormigón-Baldosa	Hormigón-Baldosa	Hormigón-Baldosa	Hormigón-Baldosa
Materiales de pared	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque
Material de la estructura	Acero	Acero	Acero	Acero
Material de cubierta	Ac/zinc	Ac/zinc	Ac/zinc	Ac/zinc
Material de ventanas	Alum/vidrio	Alum/vidrio	Alum/vidrio	Alum/vidrio
Material de puertas	Madera	Madera	Madera	Madera
Calidad de vida al interior de la vivienda	Excelente	Excelente	Muy buena	Muy buena
Comodidad de la vivienda	Cómoda	Muy cómoda	Cómoda	Cómoda
Cantidad de luz solar que ingresa a la vivienda	Bastante	Mucho	Bastante	Algo
Calidad de sensación térmica	Normal_0	Normal_0	Normal_0	Normal_0
Tasa metabólica	Moderada 165 W/M ²	Moderada 165 W/M ²	Baja 100 W/M ²	Baja 100 W/M ²
Permanencia al interior de la vivienda	Medio día	Medio día	Todo el día	Todo el día
Vestimenta	Ropa media 1clo	Ropa media 1clo	Ropa media 1clo	Ropa media 1clo



Preguntas	Papá	Mamá	Hija	Hijo
Experiencia de residir en otra vivienda	No	Si	Si	Si
Tipología de la otra vivienda		Hormigón	Hormigón	Hormigón
Vivienda adecuada para el clima de la zona	Madera y bloque	Madera	Ladrillo	Madera
Materiales que optaría para una nueva vivienda	Hormigón	Madera	Madera	Hormigón
Posee artefactos de calefacción o enfriamiento	No	No	No	No
Descripción del artefacto	-----	-----	-----	-----

Elaboración: Autores, 2021.

En la Tabla 10 se puede apreciar un resumen de los parámetros obtenidos en campo como temperaturas, velocidad de aire, humedad relativa, configuraciones para combinaciones habituales de ropa y de tasa metabólica según la actividad, para la evaluación de la sensación térmica mediante la metodología de Fanger.

Tabla 10: Datos para la valoración de sensación térmica con el método de Fanger de la zona de estudio.

Parámetros	Datos	Configuración
Temperatura del aire	12 °C	
Temperatura radiante	16 °C	
Velocidad del aire	0.1 m/s	
Humedad Relativa	46 %	
Aislamiento de la ropa	0.97 clo	Bragas y sujetador
		Camisas normales con manga larga
		Pantalones normales
		Chaqueta
		Calcetines gruesos tobilleros
		Zapatos de tela gruesa



Parámetros	Datos	Configuración
Tasa metabólica	1.2 met	Descanso
		Tasa metabólica baja

Elaboración: Autores, 2021.

3.1.3. Descripción del sistema

La determinación de los diferentes parámetros que influyen en el balance energético de la vivienda se basó en la NEC- EE - Normativa Ecuatoriana de la Construcción, Eficiencia Energética. La tasa de ocupación es de 10 m² y requerimiento de aire exterior de 10 m/s y valores mínimos de iluminación al interior de la vivienda de acuerdo a lo estipulado en la Tabla 2 de la norma mencionada, se asumieron horarios de ocupación de acuerdo a la actividad por espacio de la vivienda.

Se consideró un valor para la infiltración del aire de 0.1 m/s, zona agradable, estado sedentario para una humedad entre 30-70% de acuerdo a la norma ISO 7730 (Hidalgo, 2018).

3.1.3.1. Caudal de aire fresco

Se aplicó la siguiente ecuación (5) en base a la metodología expuesta en la norma ASHRAE 62.2:

$$Q_{total} = 0.15A_{piso} + 3.5(N^{\circ}dorm + 1) \quad (5)$$

Donde:

$$Q_{total} = \text{Requerimiento de aire fresco} \left(\frac{l}{s} \right)$$

$$A_{piso} = \text{Área de la vivienda} (m^2)$$

$$N^{\circ}dorm = \text{Número de dormitorios (no menos de 1)}$$

$$Q_{total} = 0.15(48.6) + 3.5(4 + 1)$$

$$Q_{total} = 24.79 \frac{l}{s}$$



3.1.3.2. Valores mínimos de Iluminación

La Tabla 11 muestra los niveles mínimos de iluminación según la Norma Ecuatoriana de Construcción de Eficiencia Energética.

Tabla 11: Niveles mínimos de iluminación

Áreas	Mínimo (LUX)	Recomendado (LUX)	Óptimo (LUX)
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo/baños	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de estudio o trabajo	300	500	750
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación y pasillos	50	100	150
Escaleras, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200

Fuente: (NEC-EE, 2015)

Para el modelo línea base y la envolvente con aislante térmico se eligió los valores mínimos estipulados en la Tabla 11.

3.1.3.3. Datos generados de la encuesta

Los horarios de ocupación se definieron mediante encuestas realizadas a los usuarios de la vivienda, siendo distintos para cada espacio:

Dormitorios: 20H00-07H00

Comunes: 07H00-22H00

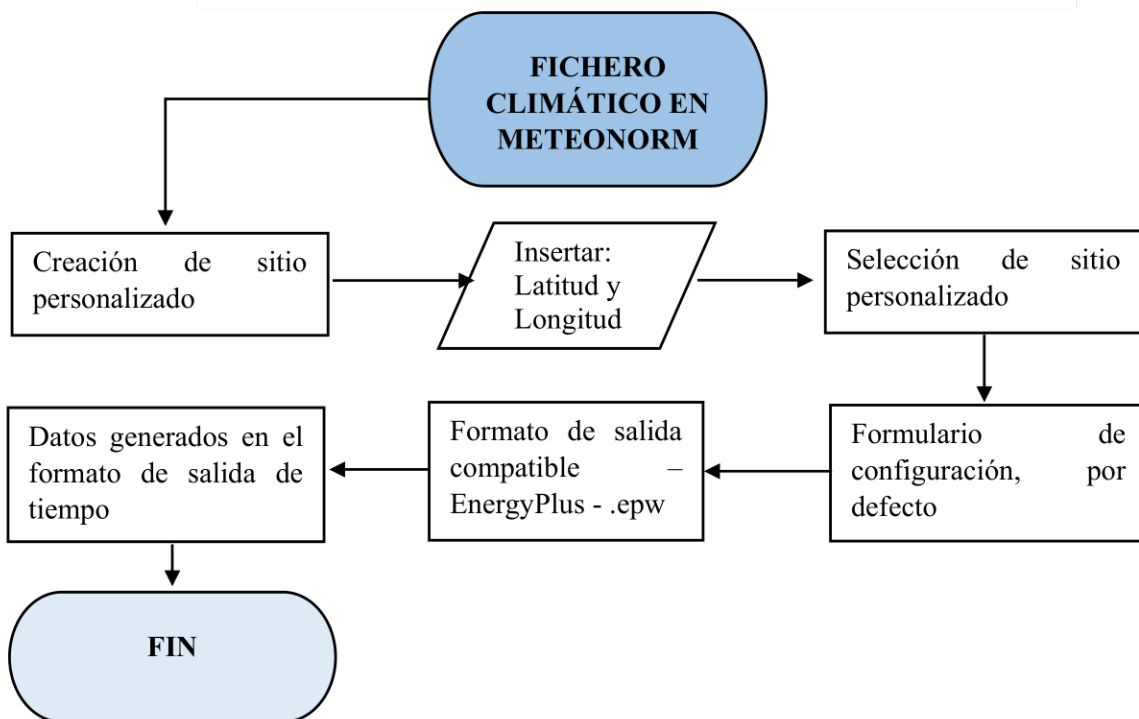


Además de datos como combinaciones habituales de ropa, temperatura radiante, temperatura del aire, y tasa metabólica se pueden observar en la Tabla 10. Así como los materiales de construcción de la vivienda detallados en la Tabla 13.

3.1.4. Ficheros climáticos obtenidos con Meteonorm

Para el análisis de Weather Data, EnergyPlus, se utilizó el software Meteonorm con el siguiente proceso:

Ilustración 21: Proceso para obtener un fichero climático en Meteonorm.



Elaboración: Autores, 2021.

3.1.4.1. Datos Meteorológicos obtenidos en Meteonorm para la Simulación en DesignBuilder

Para la generación de información el software interpoló los datos de las estaciones de Latacunga/Cotopaxi y Quito/ Mariscal, de forma que los valores obtenidos presentan un margen de variación respecto a la realidad, sin embargo, para efectos exploratorios son aceptados en la tesis.



La tabla y gráficos a continuación muestran los datos meteorológicos de la zona de emplazamiento de la vivienda necesarios para la Simulación en DesignBuilder.

En la Tabla 12 se detalla los datos obtenidos del fichero climático, un resumen de datos de los valores expuestos en los gráficos anteriores, con adición de la velocidad del viento, con registro superior en el mes de julio y agosto con 4.9 m/s, sin embargo, según los datos generados la zona presenta vientos leves a moderados

Tabla 12: Tabla de datos del fichero climático.

Meses	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
Enero	170	89	120	13.1	8	3.4
Febrero	160	70	127	13	8	3.4
Marzo	184	76	150	12.9	8.4	3
Abril	167	69	140	12.9	8.7	3
Mayo	159	69	134	12.8	8.2	3.5
Junio	160	66	149	12.2	7.4	4.3
Julio	164	66	152	12.2	6.6	4.9
Agosto	159	61	145	12.2	6.1	4.9
Septiembre	177	76	149	12.6	6.6	4.3
Octubre	183	72	164	13.2	7.6	3.4
Noviembre	161	68	141	13.2	7.8	3
Diciembre	168	73	142	13.2	8.2	3.1
Año	2013	855	1712	12.8	7.6	3.7

Elaboración: Autores, 2021.



En donde:

Gh= radiación global horizontal

Dh= radiación difusa horizontal

Bn= relación directa normal

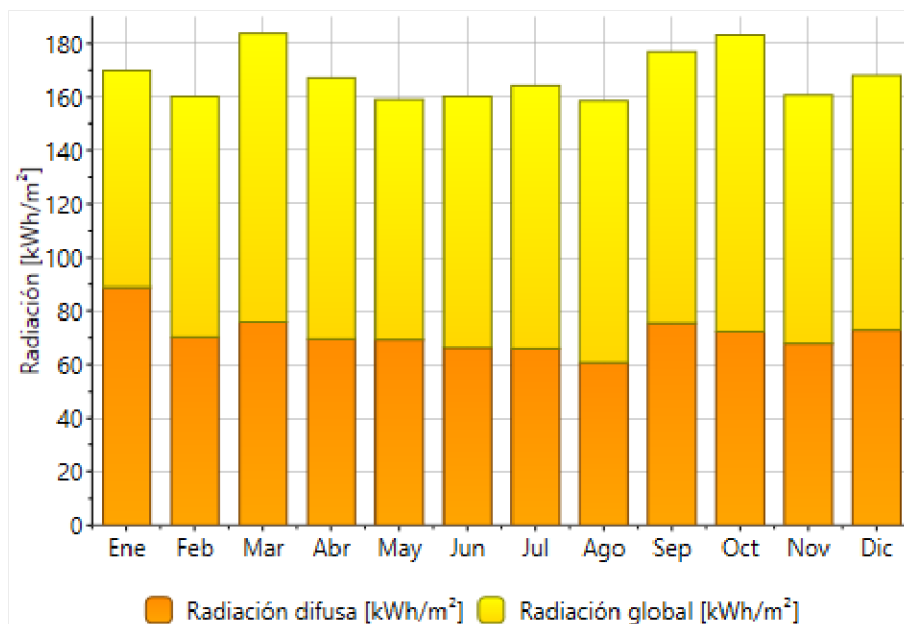
Ta= Temperatura del ambiente

Td= Temperatura de bulbo seco

FF= Velocidad del viento

La Ilustración 22 muestra la radiación solar mensual del sitio a estudio. Se observa que la radiación difusa es mayor durante el mes de enero a diferencia del mes de agosto con alrededor de 28 kWh/m², mientras que la radiación global es mayor en marzo y octubre y menor en agosto y mayo.

Ilustración 22: Diagrama de la Radiación solar de la zona.

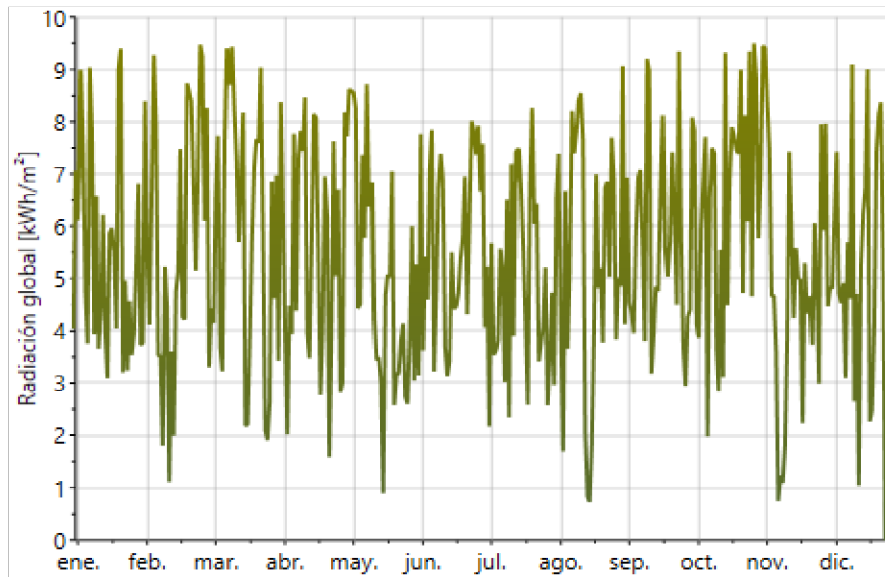


Fuente: Obtenido de Meteonorm.

La Ilustración 23 muestra la radiación global diaria, donde se aprecia que durante los meses de mayo y junio tiende a valores menores en relación a los meses restantes.



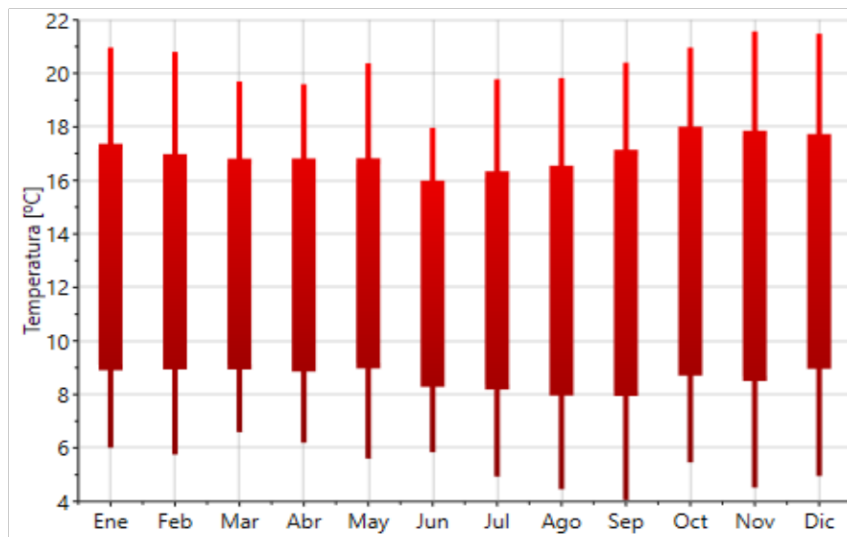
Ilustración 23: Diagrama de Radiación global diaria de la zona.



Fuente: Obtenido de Meteonorm.

La Ilustración 24 muestra la temperatura promedio mensual en la zona a estudio. Se observa que las temperaturas son menores en junio, julio y agosto con 12.2 °C y mayores en octubre, noviembre y diciembre con 1 °C.

Ilustración 24: Diagrama de Temperaturas mensuales promedio de la zona.

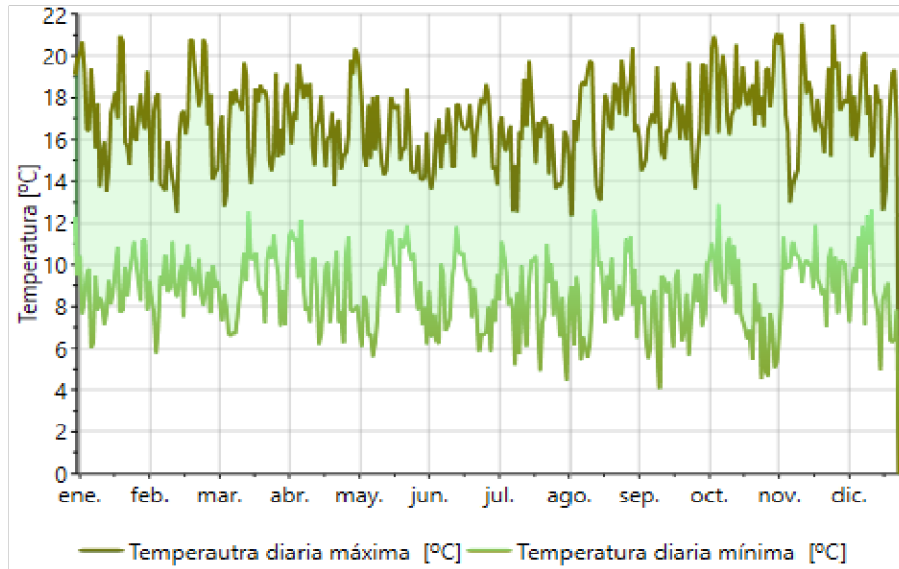


Fuente: Obtenido de Meteonorm.



La Ilustración 25 se observan las temperaturas diarias de la zona durante todos los meses. En un día del mes de septiembre se registra la temperatura más baja llegando a los 4 °C y en el mes de noviembre la temperatura más alta de 21.5 °C. Además, se aprecia que durante algunos días de julio se registran las temperaturas más bajas.

Ilustración 25: Diagrama de Temperaturas diarias máximas y mínimas registradas en la zona.

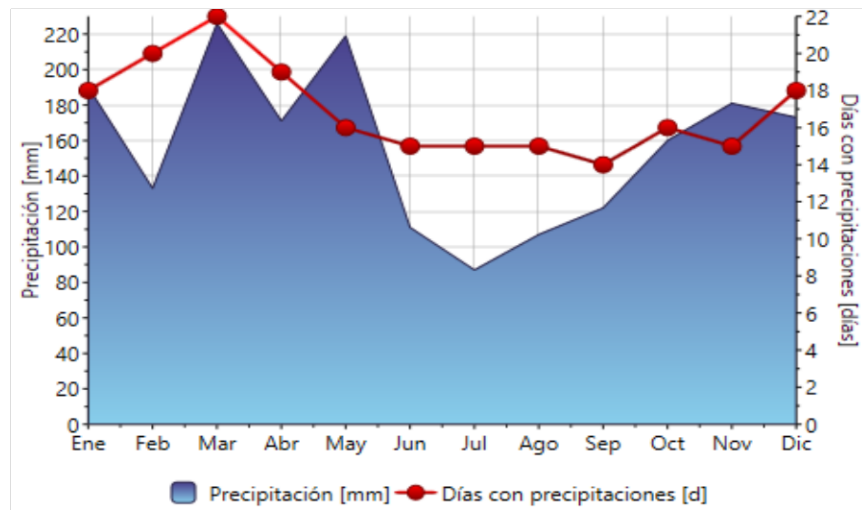


Fuente: Obtenido de Meteonorm.

La Ilustración 26 muestra la precipitación mensual y la cantidad de días en los que ocurre. Se aprecia que en mes de marzo existe una mayor precipitación de 220 mm así como el mayor número de días con precipitación (22). El mes de julio presenta precipitaciones bajas con un promedio de 90 mm, sin embargo, en agosto existen menos días de precipitación.



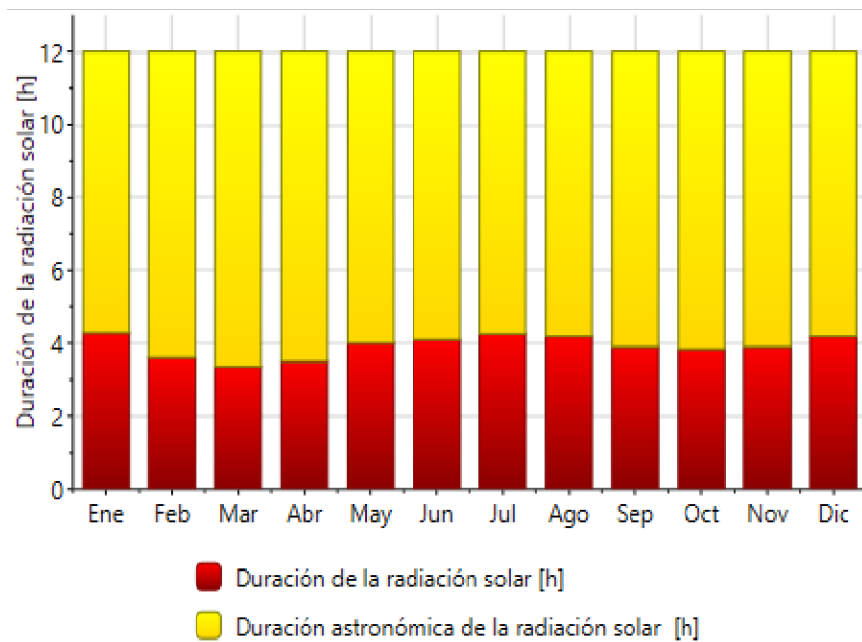
Ilustración 26: Diagrama de Precipitación mensual de la zona.



Fuente: Obtenido de Meteonorm.

La Ilustración 27 muestra la duración de la insolación mensual. Se evidencia una duración de la radiación solar superior en enero, julio, agosto y diciembre de alrededor de 4 h.

Ilustración 27: Diagrama de duración de la Insolación mensual de la zona.

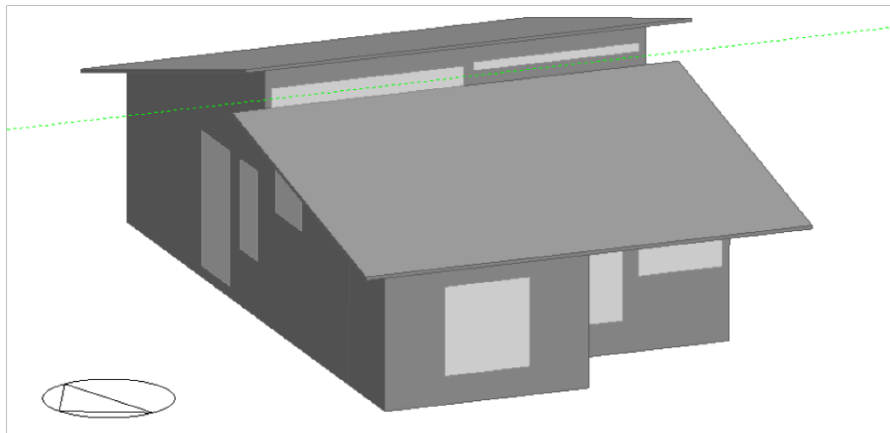


Fuente: Obtenido de Meteonorm.

3.1.5. Simulación Energética de VIS modelo línea base

El modelo base de la vivienda de estudio del MIDUVI expone tecnologías de construcción convencional sin aislamiento. Para la evaluación energética se consideraron parámetros climáticos obtenidos del Meteonorm con extensión epw, necesario para el motor Energy Plus con el que opera Design Builder.

Ilustración 28: Modelación geométrica de la vivienda en DesignBuilder.



Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 29: Modelo renderizado de la VIS.



Elaboración: Autores, 2021.



A continuación, en la Tabla 13 se describe los materiales usados, los espesores, conductividad térmica, calor específico, densidad de los materiales empleados en los elementos constructivos, tanto interiores como exteriores.

Tabla 13: Propiedades térmicas de los materiales de construcción utilizados en la VIS.

Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m.K)	Calor específico (J/kg.°K)	Fuente
Bloque	2240	1.31	840	(Bonilla & Velasco, 2017)
Panel fibrocemento	350	0.221	1300	(INEN, 2014)
Hormigón f'c 140 kg/cm ²	850	0.29	840	(CIBSE, 2006)
Hormigón f'c 210 kg/cm ²	1800	1.35	1000	(CIBSE, 2006)
Masillado	2100	1.40	650	(Tindale, 2014)
Baldosa	1750	0.81	850	(Tindale, 2014)
Tierra	1460	1.28	880	(Tindale, 2014)
Roble pintado	700	0.19	2390	(Tindale, 2014)
Vidrio simple transparente		0.9		(Tindale, 2014)
Caucho de NFU	1200	0.049	1000	
Gypsum	900	0.25	1000	(Tindale, 2014)

Elaboración: Autores, 2021.

En la Tabla 14 se detalla los paquetes constructivos con su espesor en cada elemento y la transmitancia térmica de la envolvente base.

Tabla 14: Propiedades de paquetes constructivos de la envolvente base.

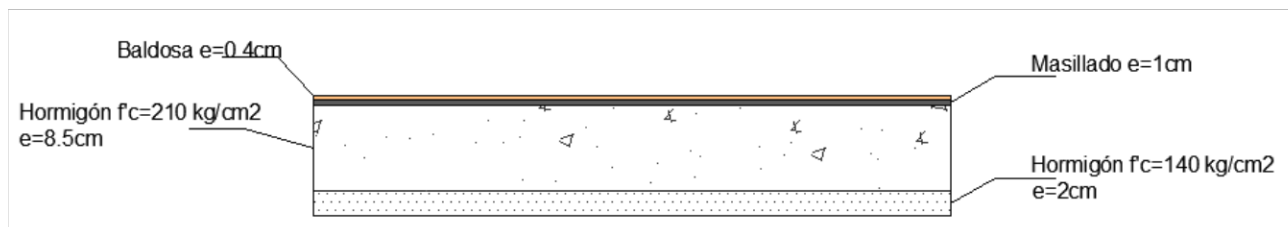
Elemento Constructivo	Material	Espesor (cm)	Factor U (W/m ² .K)
Paredes interiores	Bloque	10	4.059
Paredes exteriores	Bloque	10	4.059
Techo	Panel fibrocemento	0.14	4.918
Piso Interior	Hormigón f'c 140 kg/cm ²	2	2.825
	Hormigón f'c 210 kg/cm ²	8.5	



Elemento Constructivo	Material	Espesor (cm)	Factor U (W/m ² .K)
	Masillado	1	
	Baldosa	0.4	
Piso exterior	Tierra	10	3.471
Puertas	Roble pintado	4	2.823
Ventanas	Vidrio simple transparente	0.3	5.89

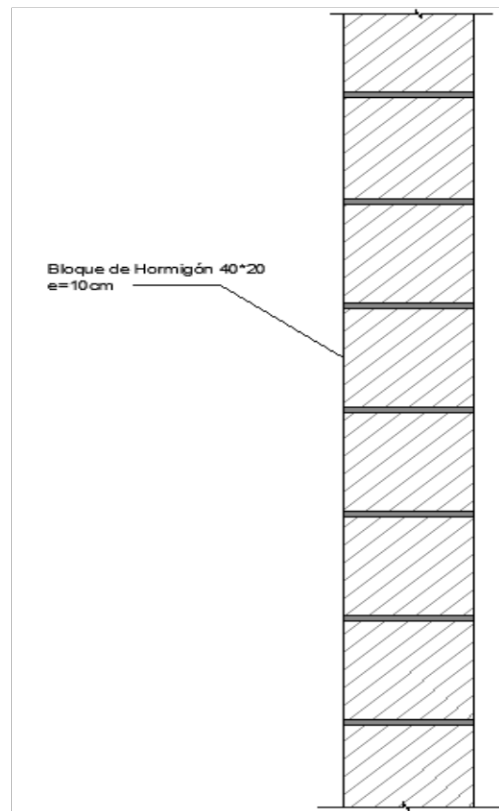
Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 30: Detalle constructivo del piso del modelo línea base de la VIS.



Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 31: Detalle constructivo de la pared exterior del modelo línea base.



Elaboración: Autores, 2021.

Para el análisis del balance térmico y temperaturas de confort, mediante Design Builder, se consideraron dos escenarios de análisis: período de invierno y período de verano. La Tabla 15 indica los meses de inicio y final de las estaciones de invierno y verano, los días con mayor y menor temperatura del cantón El Tambo, obtenidos mediante Weather Data de Energy Plus.

Tabla 15: Datos climáticos máximos y mínimos de invierno y verano.

Verano	
Mes de inicio de Verano	Octubre
Mes de fin de Verano	Diciembre
Semana extremadamente calurosa, comenzando	Octubre (8)
Semana calurosa típica, comenzando	Noviembre (5)
Invierno	



Mes de inicio de Invierno	Abril
Mes de fin de Invierno	Junio
Semana extremadamente fría, comenzando	Junio (3)
Semana fría típica, comenzando	Abril (29)

Elaboración: Autores, 2021.

La infiltración en este caso de estudio se definió mediante una tasa de renovaciones de aire por hora bajo condiciones normales de presión. Sus unidades se definirían al igual que con la ventilación natural. Para el cálculo de la vivienda se basará en el documento DB HS3 de donde se obtuvo la ecuación (6).

Tabla 16: Caudales mínimos de ventilación.

Espacios	Caudal mínimo de ventilación		
	Por ocupante	Por m2 útil	Por local
Dormitorios	5 l/s		
Comedor y Sala	3 l/s		
Cocina		2 l/s	
Baños y Aseos			15 l/s

Elaboración: Autores, 2021.

$$Q_v = \text{Caudal mínimo} * (\text{N}^\circ \text{ocupantes} - \text{Área útil} - \text{N}^\circ \text{espacios}) \quad (6)$$

Dónde: Q_v = Caudal de ventilación

Tabla 17: Datos de la vivienda para el cálculo de la infiltración.

Espacios	Datos de la vivienda			Q_v (l/s)	
	Ocupantes	Área útil (m ²)	Nº de espacios	Caudal de admisión	Caudal de extracción
Dormitorios	4	22.30	3	20	
Comedor y Sala	4	10.57	1	12	
Cocina	2	10.80	1		21.60
Baños y Aseos	1	4.93	1		15



Espacios	Datos de la vivienda		Qv (l/s)	
		Total	32	36.6

Elaboración: Autores, 2021.

En función de los valores obtenidos se toma como Qv el de extracción por ser superior al de admisión.

$$Qv = 36.6 \frac{l}{s}$$

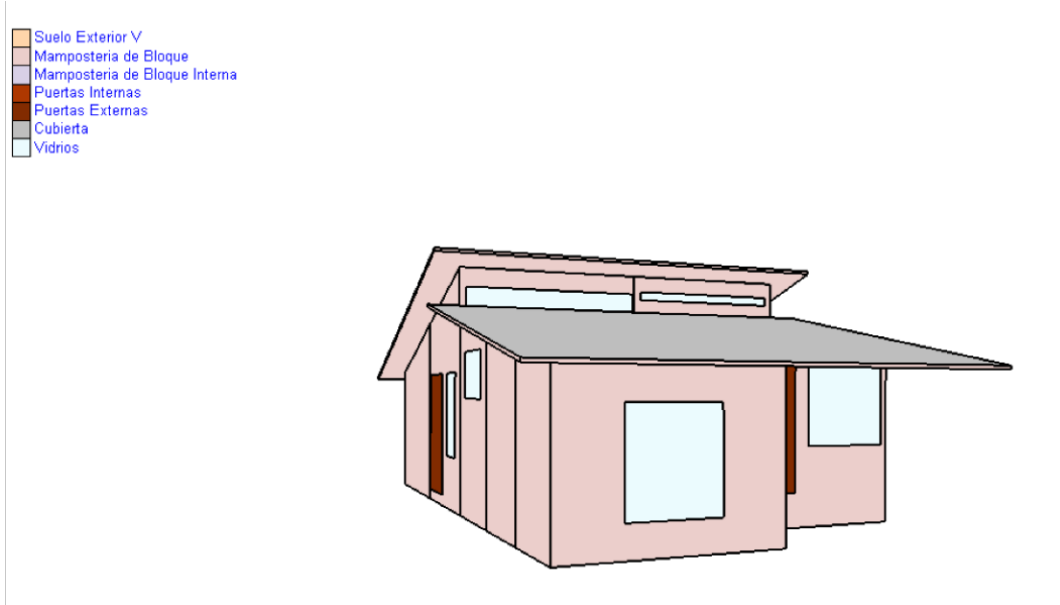
$$Qv = 131.76 \frac{m^3}{h}$$

El valor de la infiltración se obtiene con la ecuación (7) y es igual a:

$$\text{Infiltración} = Qv/vol_vivienda \quad (7)$$

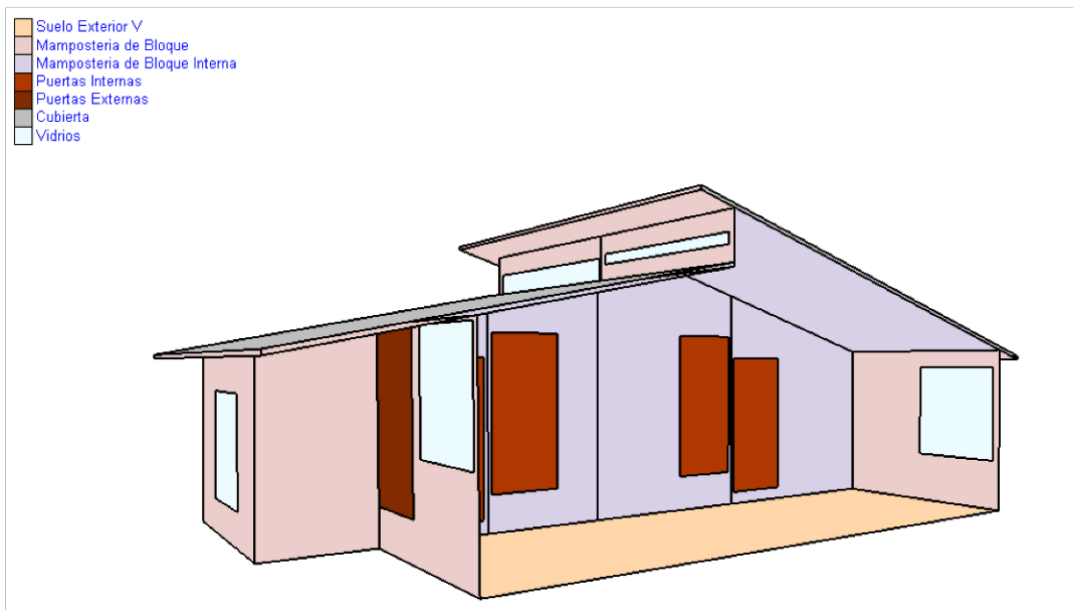
$$\text{Infiltración} = \frac{131.76 \text{ m}^3/h}{142.2 \text{ m}^3} = 0.92 \frac{\text{renov}}{h}$$

Ilustración 32: Espacios interiores de la VIS sin aislante térmico.



Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 33: Espacios interiores de la VIS sin aislante térmico.



Elaboración: Autores, 2021.



3.1.6. Simulación energética de VIS modelo modificado

Para mejorar el comportamiento térmico energético se consideró el uso de aislamiento térmico proveniente de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en la siguiente envolvente arquitectónica para comparar el rendimiento de cada envolvente.

3.1.6.1. Determinación de las propiedades térmicas del caucho reciclado de los NFU

En la Tabla 18 se detalla los valores de las propiedades térmicas del caucho reciclado de los NFU, recopilados de diferentes artículos de investigación, así como de empresas particulares productoras de este material.

Tabla 18: Propiedades térmicas del caucho reciclado de los NFU

Conductividad Térmica (W/m.K)	Densidad (kg/m ³)	Fuente
0.25	1350	(Kader, Abdel-wehab, Helal, & Hassan, 2011)
0.22	1180	
0.108	585	(Crnoja, Kersh, Popov, & Dovhulia, 2020)
0.121	700	
0.124	750	
0.145	1100	
0.06		(Erica, 2020)
0.035		(Narnol, 2020)
0.036		
0.038		
0.122		(iTeCons, 2012)
	1230	(Verbruggen, Does, Noordermeer, Duin, & Manuel, 1999)

Elaboración: Autores, 2021.

Para la ejecución de la simulación energética, se consideró una conductividad térmica de 0.049 W/m. K, correspondiendo al promedio de los datos más bajos de la Tabla 18, Por otro lado,



se asumió como densidad el valor de 1200 kg/m³, correspondiente al promedio de los valores más altos de la Tabla 18.

Para la envolvente modificada de 4 y 8 cm se consideraron los mismos materiales de los elementos constructivos del modelo línea base a excepción del piso y las paredes externas. Los valores utilizados para la simulación se presentan en la Tabla 19 (4 cm) y Tabla 20 (8cm).

Tabla 19: Propiedades de paquetes constructivos de la envolvente modificada, 4cm de caucho.

Elemento Constructivo	Material	Espesor (cm)	Factor U (W/m ² .K)
Paredes interiores	Bloque	10	4.059
Paredes exteriores	Bloque	10	0.907
	Caucho de NFU	4	
	Gypsum	1	
Techo	Panel fibrocemento	0.14	4.918
Piso Interior	Hormigón f'c 140 kg/cm ²	8	0.683
	Caucho de NFU	4	
	Piso Flotante	0.7	
Piso exterior	Tierra	10	3.471
Puertas	Roble pintado	4	2.823
Ventanas	Vidrio simple transparente	0.3	5.89

Elaboración: Autores, 2021.

Tabla 20: Propiedades de paquetes constructivos de la envolvente modificada, 8cm de caucho.

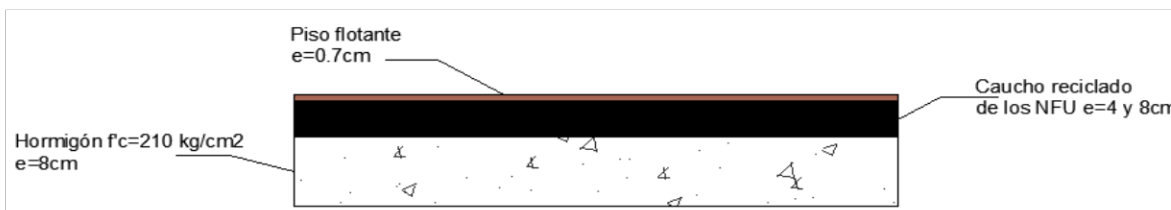
Elemento Constructivo	Material	Espesor (cm)	Factor U (W/m ² .K)
Paredes interiores	Bloque	10	4.059
Paredes exteriores	Bloque	10	0.521
	Caucho de NFU	8	
	Gypsum	1	
Techo	Panel fibrocemento	0.14	4.918
Piso Interior	Hormigón f'c 140 kg/cm ²	8	0.438
	Caucho de NFU	8	



Elemento Constructivo	Material	Espesor (cm)	Factor U (W/m ² .K)
	Piso Flotante	0.7	
Piso exterior	Tierra	10	3.471
Puertas	Roble pintado	4	2.823
Ventanas	Vidrio simple transparente	0.3	5.89

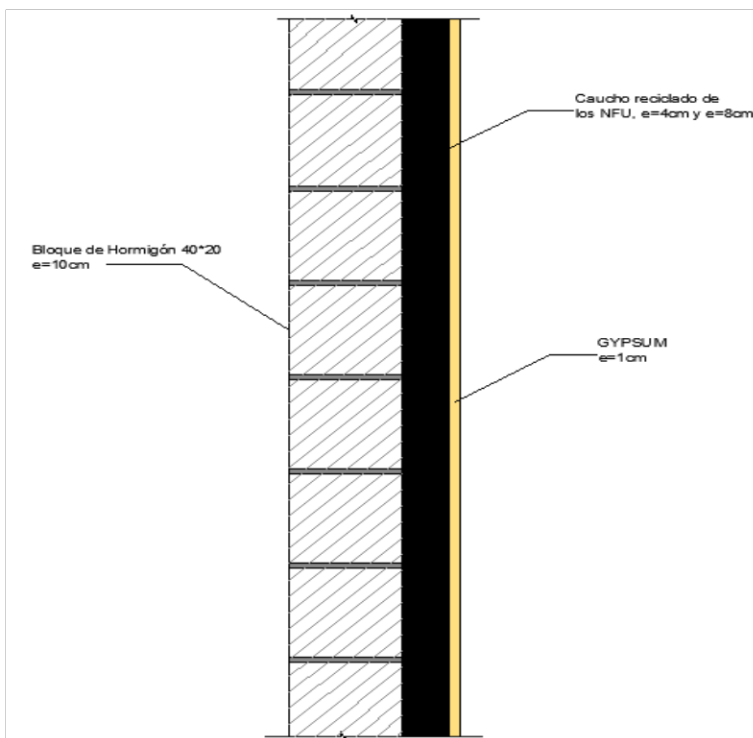
Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 34: Detalle constructivo del piso de la envolvente modificada.



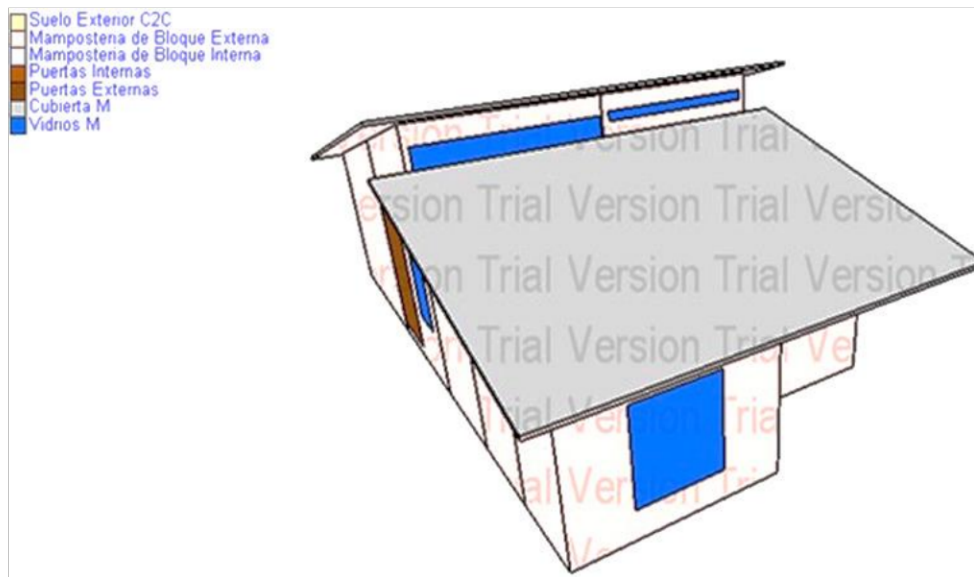
Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 35: Detalle constructivo de la pared externa de la envolvente modificada.



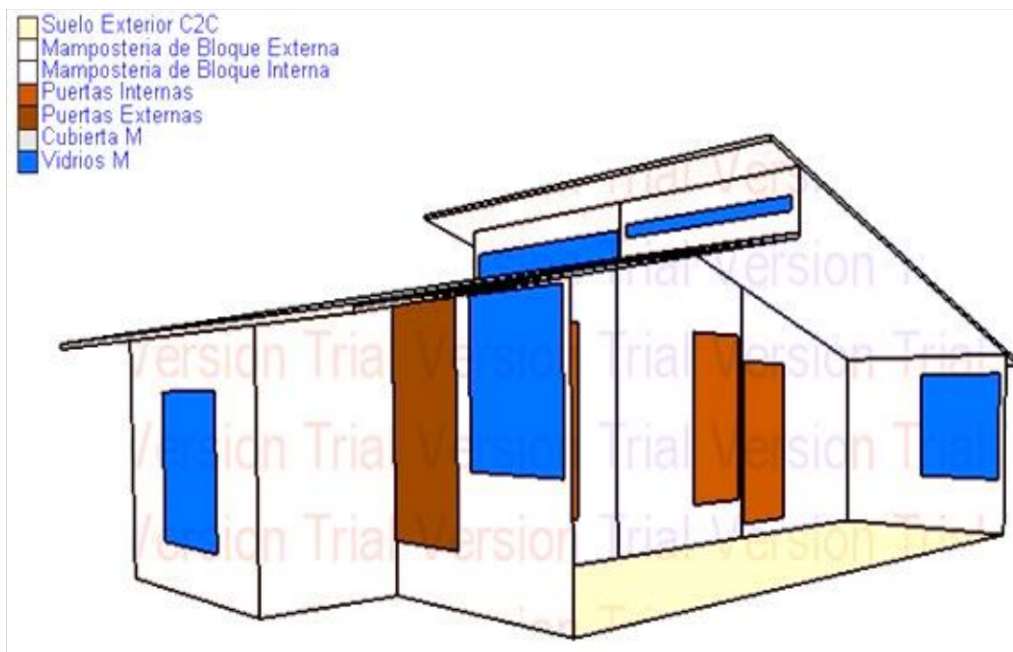
Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 36: Definición de los elementos constructivos de la VIS con aislante térmico.



Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 37: Espacios interiores de la VIS con aislante térmico.



Elaboración: Autores, 2021.

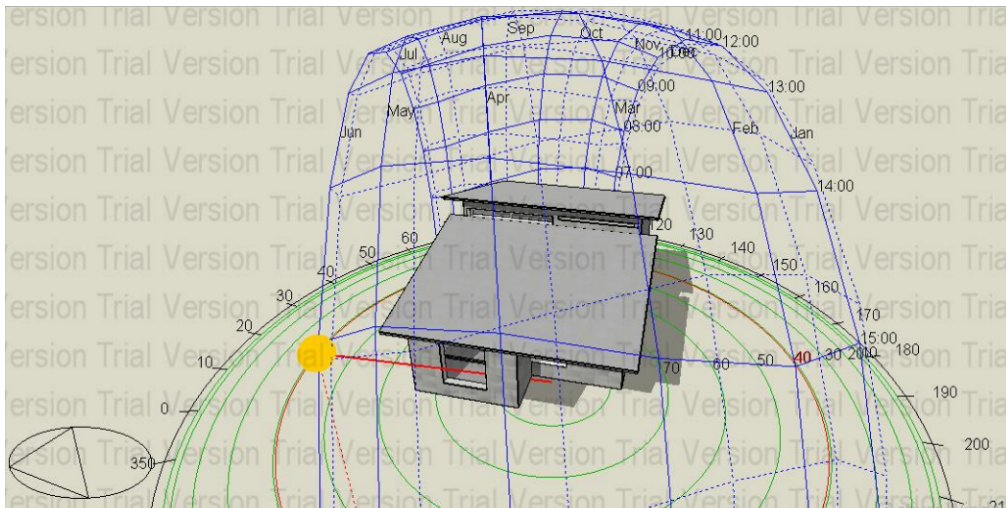
3.1.7. Diagrama de Recorrido Solar e influencia a la vivienda de interés social

La recreación del modelo BIM de la vivienda de interés social, se ejecutó a partir de planos constructivos obtenidos del GAD Municipal del Tambo, cuyos detalles constructivos, así como la orientación de la vivienda, 31°NE , se levantaron mediante inspecciones de campo.

En la Ilustración 38, 39, 40 y 41 se observa el recorrido del sol en las diferentes horas del día y meses del año, así como la energía concentrada emitida en la fachada frontal, posterior y laterales de la vivienda, por ende, su influencia en el aumento de temperatura radiante en cada elemento constructivo y la proyección de la sombra.

Con la orientación mencionada, la radiación solar recae sobre la fachada a las 15:00 mientras que al medio día es sobre la cubierta.

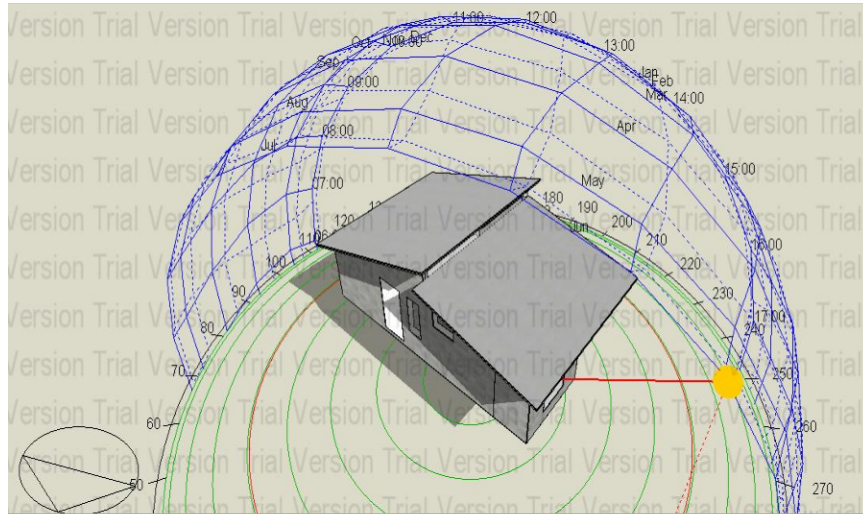
Ilustración 38: Fachada frontal de la VIS.



Fuente: Obtenido de DesignBuilder.



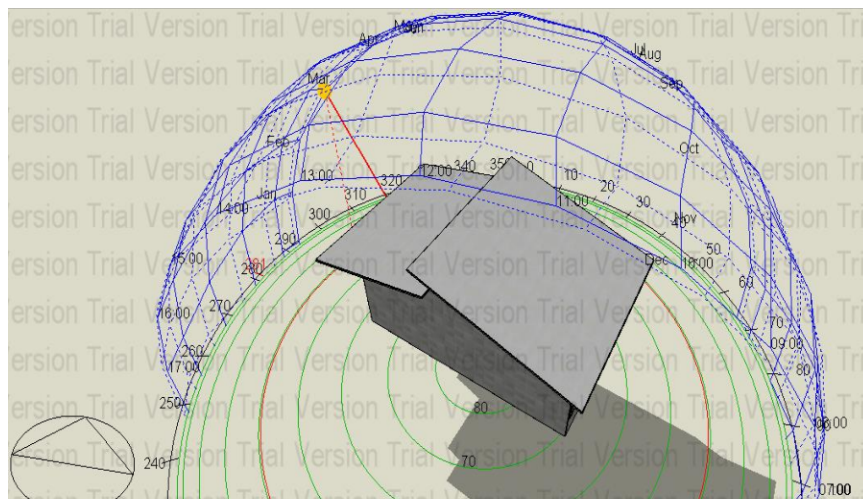
Ilustración 39: Fachada lateral derecha de la VIS.



Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

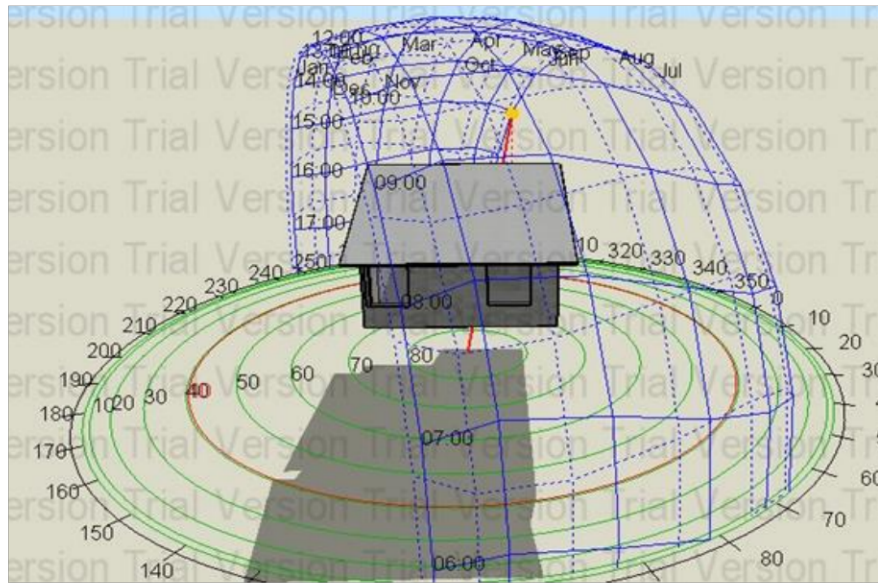
Con el movimiento manual del sol en el software en cualquier hora del día y/o mes se visualiza la proyección de la sombra generada por la radiación solar, de tal forma que con estos gráficos se contribuya en rediseñar la orientación de la vivienda o en caso de estar construida modificar sus elementos constructivos para la reducción de energía a través del uso de los recursos naturales.

Ilustración 40: Fachada lateral izquierda de la VIS.



Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

Ilustración 41: Fachada posterior de la VIS.



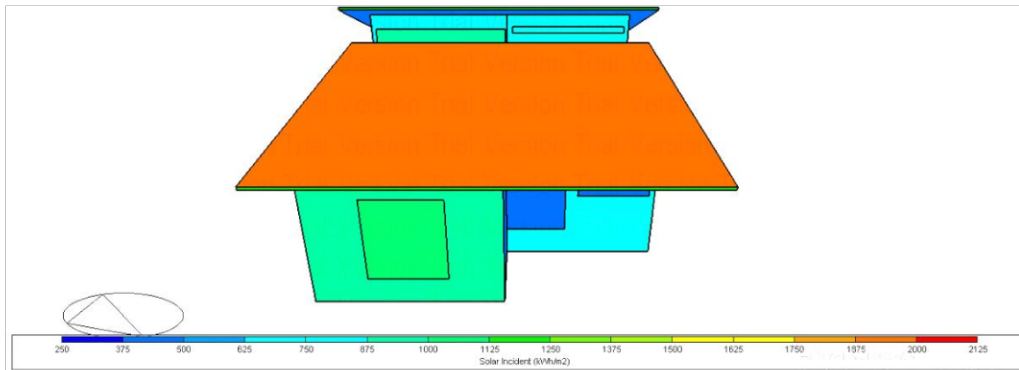
Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

3.1.7.1. Incidencia solar en las zonas externas de la VIS

La Ilustración 42, 43, 44 y 45 representan la simulación renderizada del modelo de la VIS, usando varios colores tanto para superficies como aberturas, identificando los elementos con mayor incidencia solar a través de un gráfico con bandas de rangos, que van desde la menor (azul) hasta la mayor (rojo) cantidad de energía acumulada por metro cuadrado del elemento. Los rangos están definidos por los autores en base a los valores resultantes iniciales y finales de radiación solar del edificio.

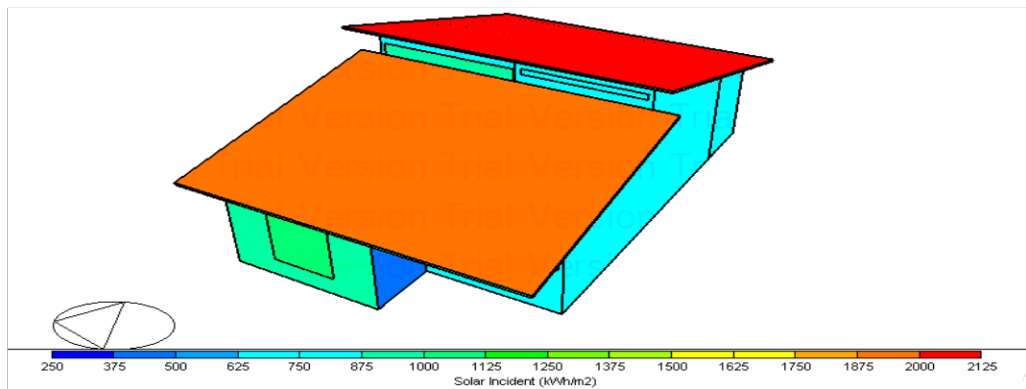


Ilustración 42: Incidencia solar en la fachada frontal de la VIS.



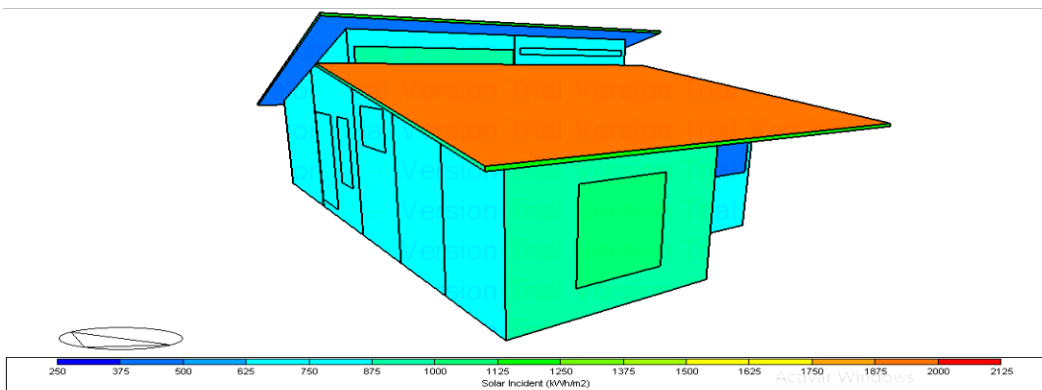
Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

Ilustración 43: Incidencia solar en la fachada lateral izquierda de la VIS.



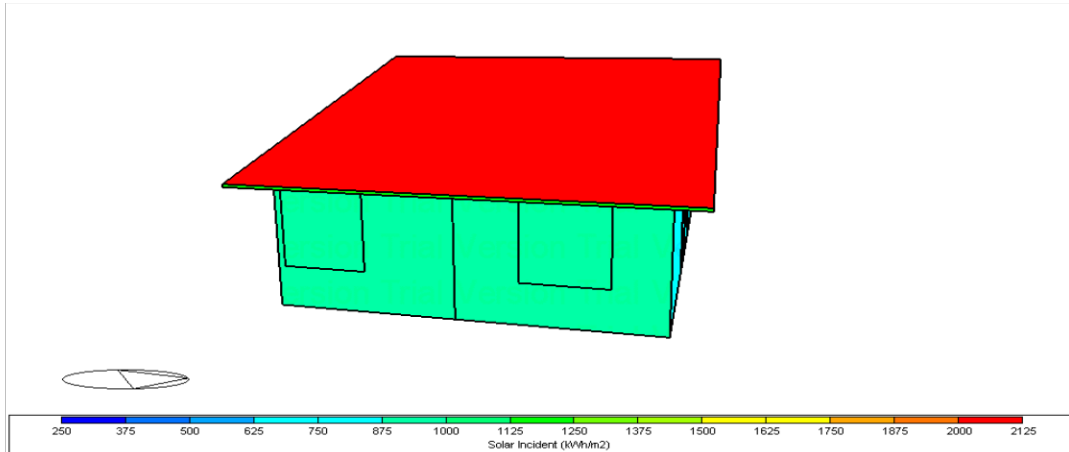
Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

Ilustración 44: Incidencia solar en la fachada lateral derecha de la VIS.



Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

Ilustración 45: Incidencia solar en la fachada posterior de la VIS.



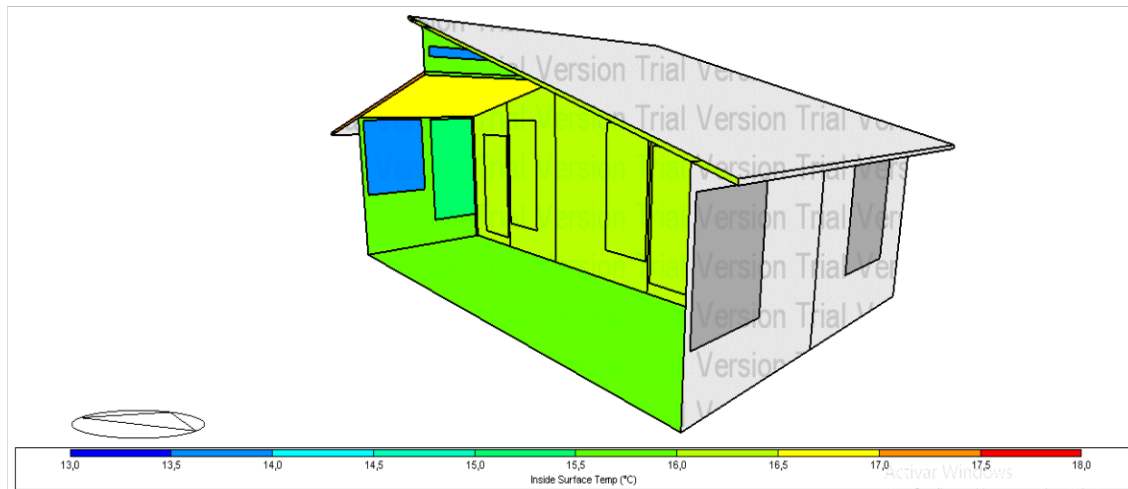
Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

3.1.7.2. Incidencia solar en las zonas internas de la VIS

En la Ilustración 46, 47, 48 y 49 se puede observar la incidencia del sol en el interior de la VIS mediante temperaturas concentradas en las superficies a través de una barra de rangos que indican las distintas temperaturas adoptadas en cada espacio de la vivienda, similar al tema anterior presenta colores desde el azul hasta el rojo, es decir menor y mayor temperatura respectivamente. Los valores pertenecientes al rango son generados en función de los datos del edificio.

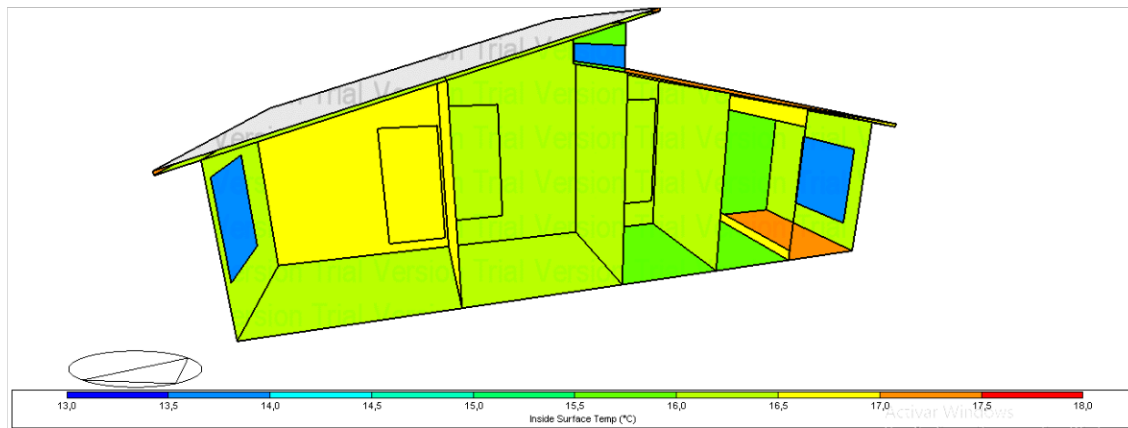
La Ilustración 46 muestra la parte lateral izquierda, la Ilustración 47 la lateral derecha de la envolvente línea base, mientras que la Ilustración 48 muestra la parte lateral izquierda y la Ilustración 49 la lateral derecha de la envolvente modificada 4 cm.

Ilustración 46: Incidencia solar de la envolvente base al interior de la VIS.



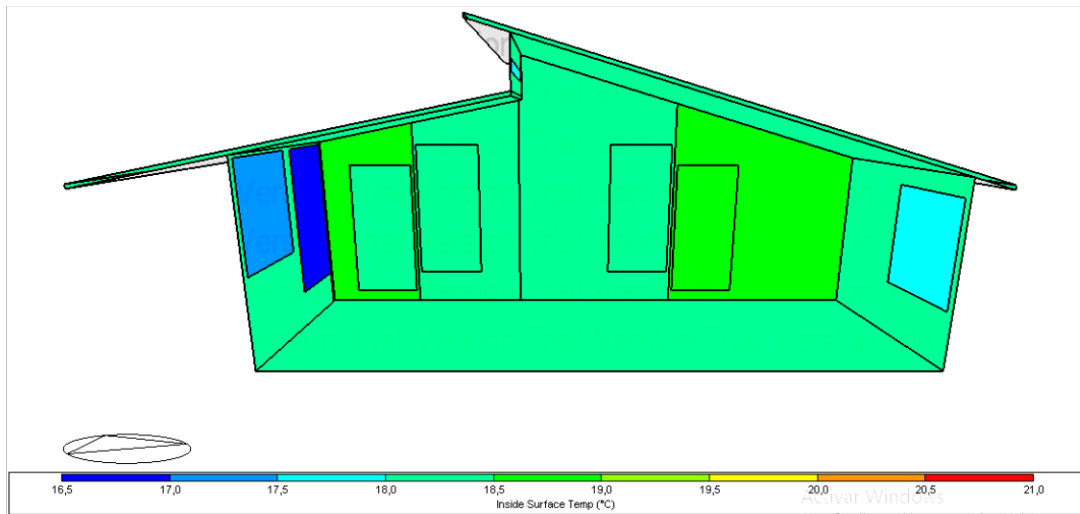
Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

Ilustración 47: Incidencia solar de la envolvente base en el interior de la VIS.



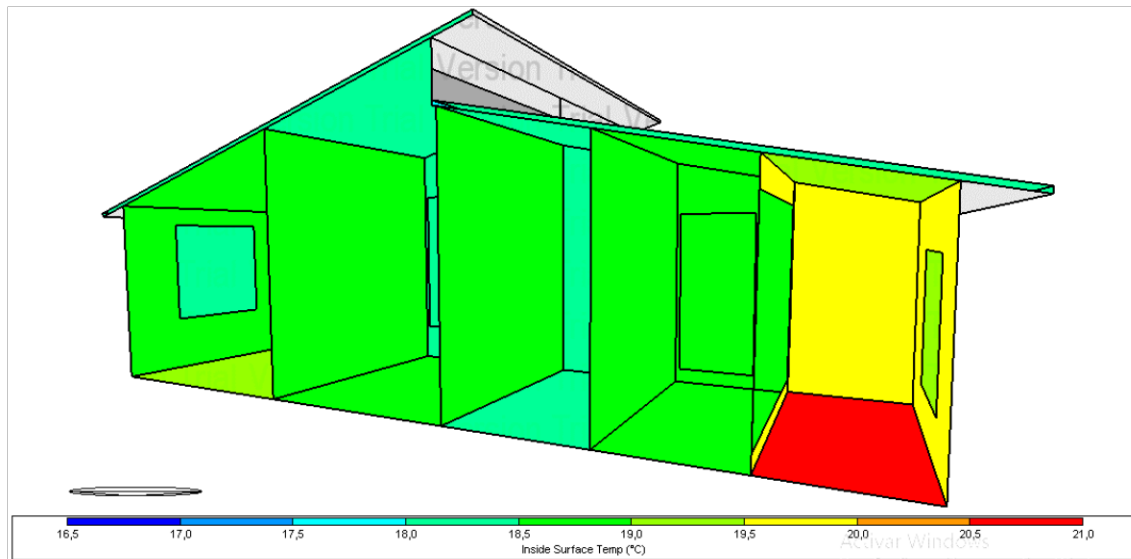
Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

Ilustración 48: Incidencia solar de la envolvente modificada al interior de la VIS.



Fuente: Obtenido de DesignBuilder.

Ilustración 49: Incidencia solar de la envolvente base en el interior de la VIS.



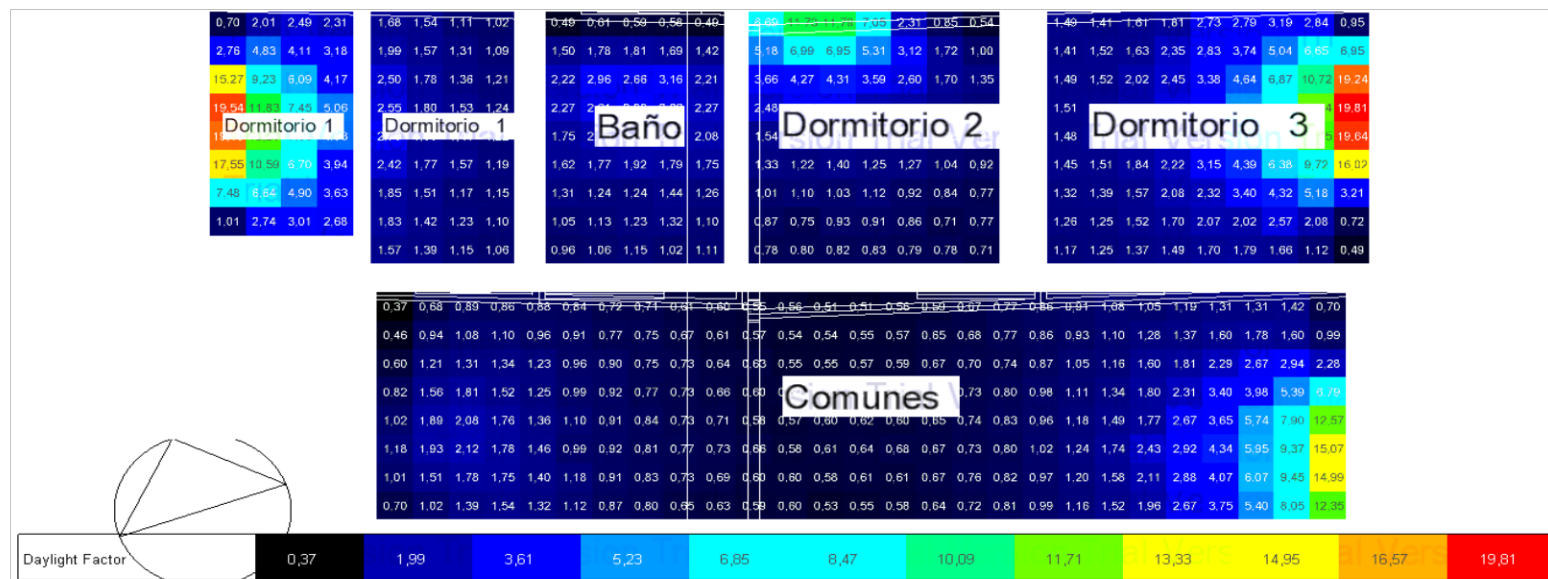
Fuente: Obtenido de DesignBuilder.



3.1.7.3. Mapa de Factor de luz diurna

La Ilustración 50 correspondiente al Mapa de Factor de luz diurna muestra la distribución de la disponibilidad de luz natural en la vivienda del modelo línea base, indicando porcentajes altos de iluminación en las zonas de las ventanas, sin embargo, estos niveles pueden ocasionar incomodidad al usuario. Al contrario de la superficie intermedia de comunes que presenta valores inferiores al 2% requiriendo una mejor iluminación, ya sea artificial o natural.

Ilustración 50: Mapa de factor de luz diurna del modelo línea base.

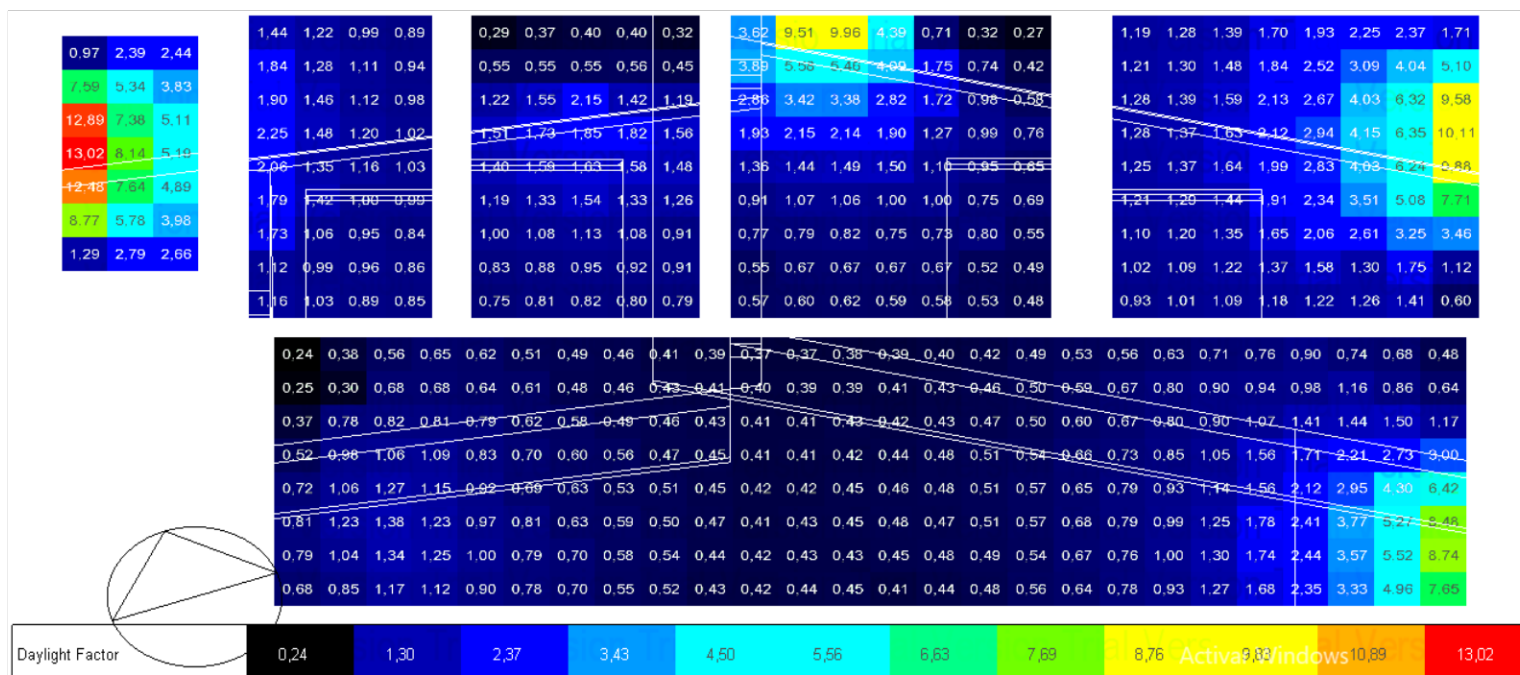


Fuente: Obtenido de DesignBuilder



La Ilustración 51 correspondiente a la envolvente modificada expone una mayor concentración de luz diurna en el área de las ventanas, a diferencia del resto de espacios intermedios y opuestos a las aberturas que tienen niveles muy bajos, contando con una inadecuada iluminación.

Ilustración 51: Mapa de factor de luz diurna de la envolvente modificada.



Fuente: Obtenido de DesignBuilder



CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Sensación Térmica de la VIS por el Método de Fanger

La Ilustración 52 muestra el voto medio estimado donde se observa un valor intermedio de -1.82 entre el intervalo de ligeramente fresco a fresco, señalando una situación ambientalmente inadecuada al interior de la vivienda en estudio.

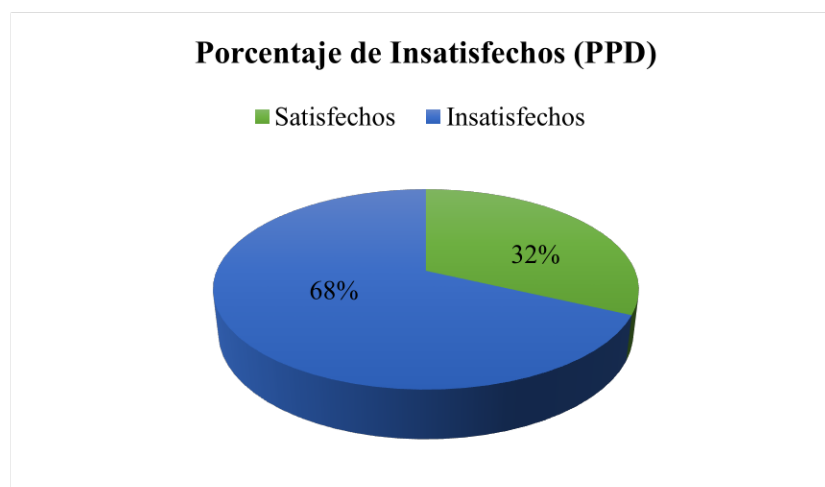
Ilustración 52: Sensación térmica en función del valor del voto medio estimado PMV de los usuarios de la VIS.



Fuente: Obtenido de Ergonautas.

La Ilustración 53 muestra un porcentaje del 68% de los usuarios de la vivienda insatisfechos, correspondiente a un valor de PMV de -1.82 y satisfechos del 32%, donde se evidencia incomodidad higrotérmica.

Ilustración 53: Porcentaje de satisfacción con el ambiente térmico.



Elaboración: Autores, 2021.



4.2. Resultados de la simulación en DesignBuilder

En la Ilustración 59 y 63 del balance térmico del modelo línea base se observa mayores pérdidas en los elementos constructivos como paredes, pisos y vidrios por lo que se optó incluir el caucho reciclado de los NFU en paredes y pisos para alcanzar mejores resultados en la eficiencia térmica energética.

4.2.1. Temperaturas de la zona para la evaluación del Confort Térmico al interior de la VIS, período de invierno

Los valores expuestos en la Tabla 21 indican un incremento en la temperatura de 2° C al interior de la vivienda con el uso de caucho reciclado de los NFU con un espesor de 4 cm, mientras que con un espesor de 8 cm el incremento es de 3° C; respecto a la envolvente línea base con temperaturas entre los 14°C.

Las temperaturas obtenidas con la envolvente modificada, 16 y 17° C, se encuentran dentro del rango adaptativo de confort térmico en el periodo de invierno en base a la ecuación (1) mencionada en el documento.

Tabla 21: Tabla comparativa de las temperaturas de las envolventes analizadas en invierno.

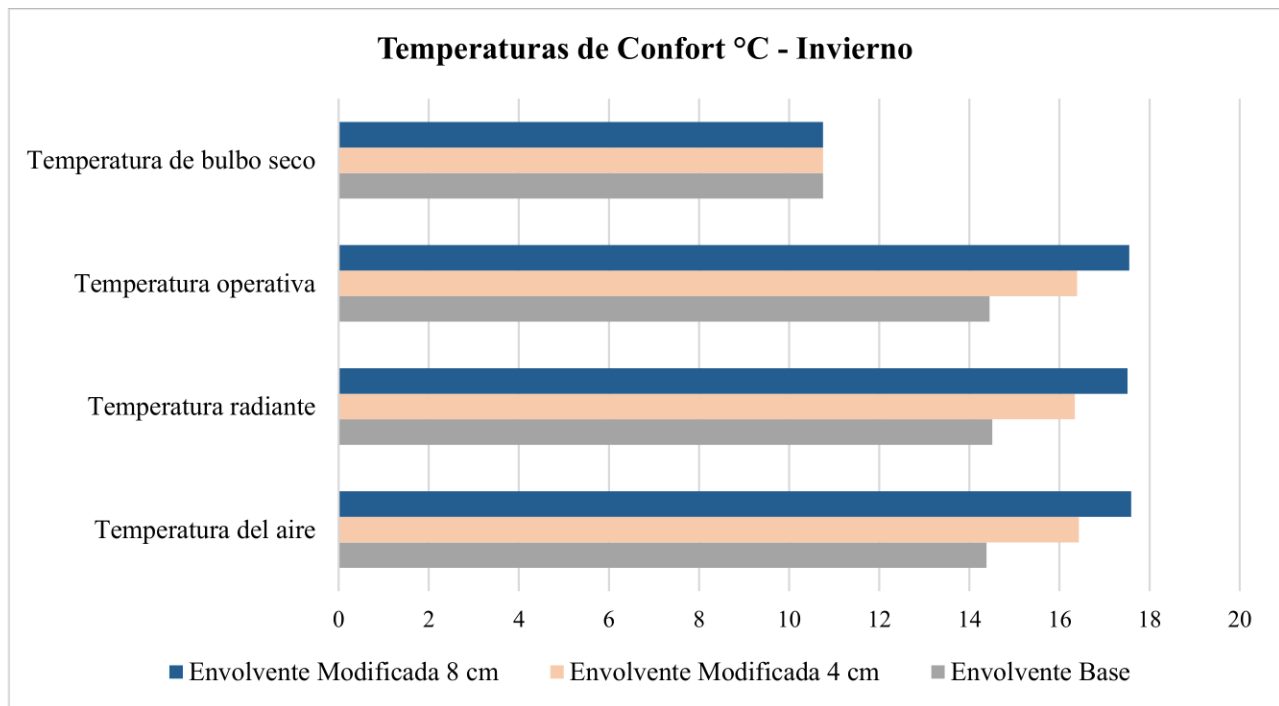
Período de Invierno			
3 - 9 de Junio			
Confort °C	Envolvente Línea Base	Envolvente Modificada	
		4 cm	8 cm
Temperatura del aire	14,38	16,43	17,59
Temperatura radiante	14,51	16,34	17,51
Temperatura operativa	14,45	16,39	17,55
Temperatura de bulbo seco	10,75	10,75	10,75

Elaboración: Autores, 2021.



En la Ilustración 54 se observa el diagrama comparativo de las temperaturas de confort de cada envolvente en el periodo de invierno. Las temperaturas que influyen en la sensación térmica demuestran que, con tan solo usar en las zonas, en este caso paredes y pisos el aislante contribuye a una adecuada comodidad higrotérmica, manteniendo el confort de 18 °C requerido en una vivienda, asimismo aporta a la comodidad de los usuarios de la vivienda en el tema de iluminación natural y artificial brindando espacios con claridad sin causar malestar personal y daños constructivos y económicos.

Ilustración 54: Diagrama comparativo de las temperaturas de confort de las envolventes en invierno.



Elaboración: Autores, 2021.

En la Tabla 22 se presenta el porcentaje de horas de confort térmico durante un día en invierno. Las temperaturas del modelo línea base, señalan valores variables unos con otros durante todo el día, es decir con ascensos y descensos notorios que los sitúan por debajo del confort térmico, en invierno presenta un confort del 25% e incomodidad del 75% en el transcurso del día, mientras que



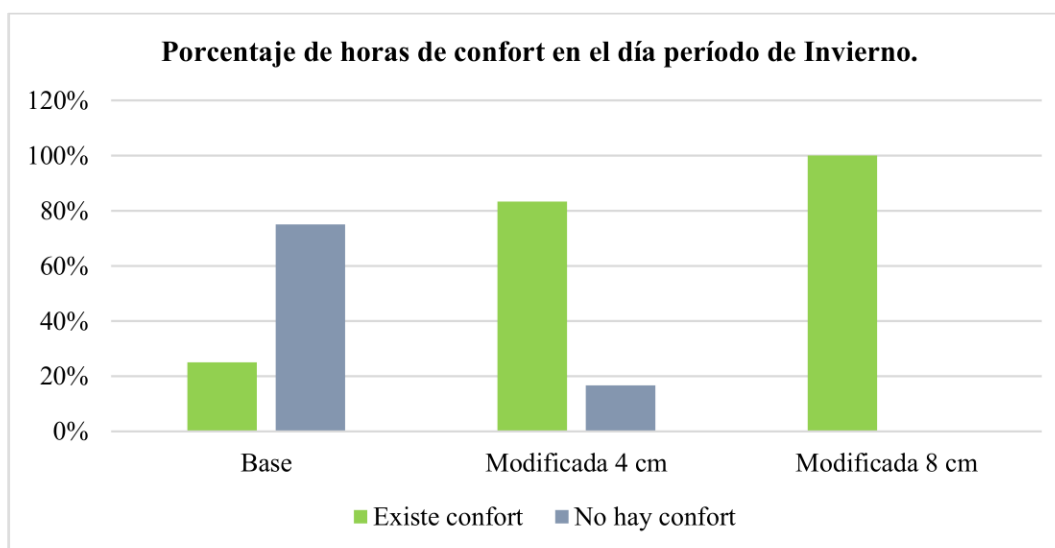
con la implementación de los materiales que componen la envolvente modificada el confort aumenta al 83% con 4 cm y 100% con 8 cm.

Tabla 22: Porcentaje de horas de confort térmico durante un día en invierno.

Envolventes - Período de Invierno			
Confort	Línea Base	Modificada 4 cm	Modificada 8 cm
Existe confort	25%	83%	100%
No hay confort	75%	17%	0%

Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 55: Porcentaje de horas de confort térmico en un día del período de invierno.



Elaboración: Autores, 2021.



4.2.2. Temperaturas de la zona para la evaluación del Confort Térmico al interior de la VIS, período de verano

En la Tabla 23 se observa las temperaturas de las envolventes analizadas en verano, de forma similar al periodo de invierno, las temperaturas aumentan con 2 y 3° C en la envolvente modificada, con valores promedio de 19 y 20° C por encima del rango mínimo de confort térmico de 18° C.

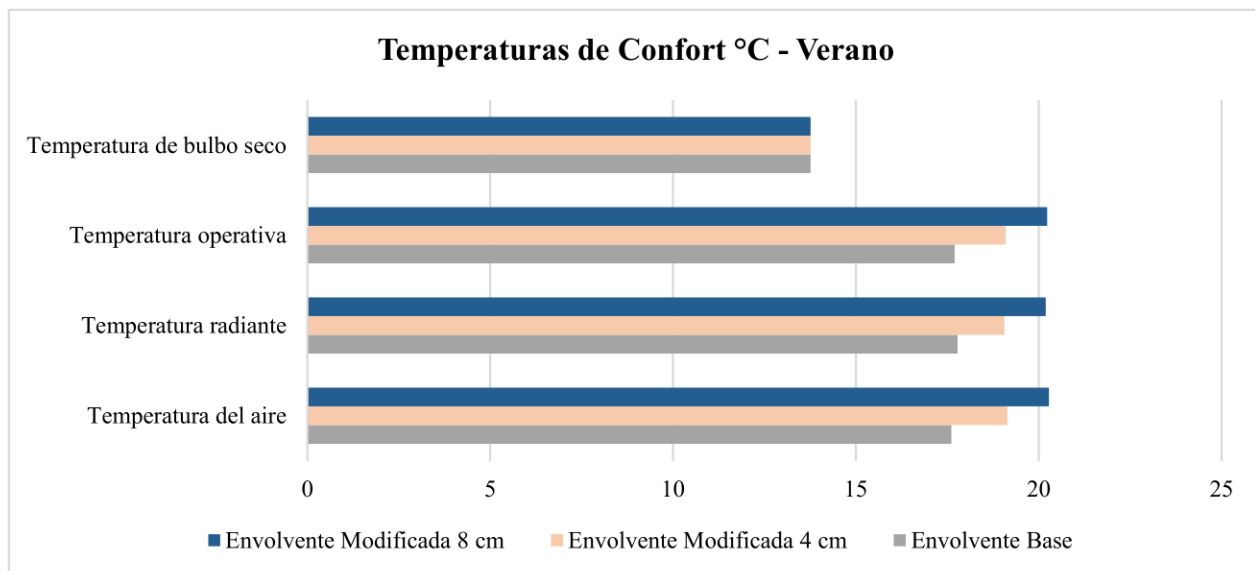
Tabla 23: Tabla comparativa de las temperaturas de las envolventes analizadas en verano.

Período de Verano			
8 - 14 Octubre			
Confort °C	Envolvente Base	Envolvente Modificada	
		4 cm	8 cm
Temperatura del aire	17,61	19,14	20,28
Temperatura radiante	17,78	19,06	20,19
Temperatura operativa	17,7	19,1	20,23
Temperatura de bulbo seco	13,76	13,76	13,76

Elaboración: Autores, 2021.

En la Ilustración 56 se expone el diagrama comparativo de las temperaturas de confort de cada envolvente en verano.

Ilustración 56: Diagrama comparativo de las temperaturas de confort de las envolventes en verano.





Elaboración: Autores, 2021.

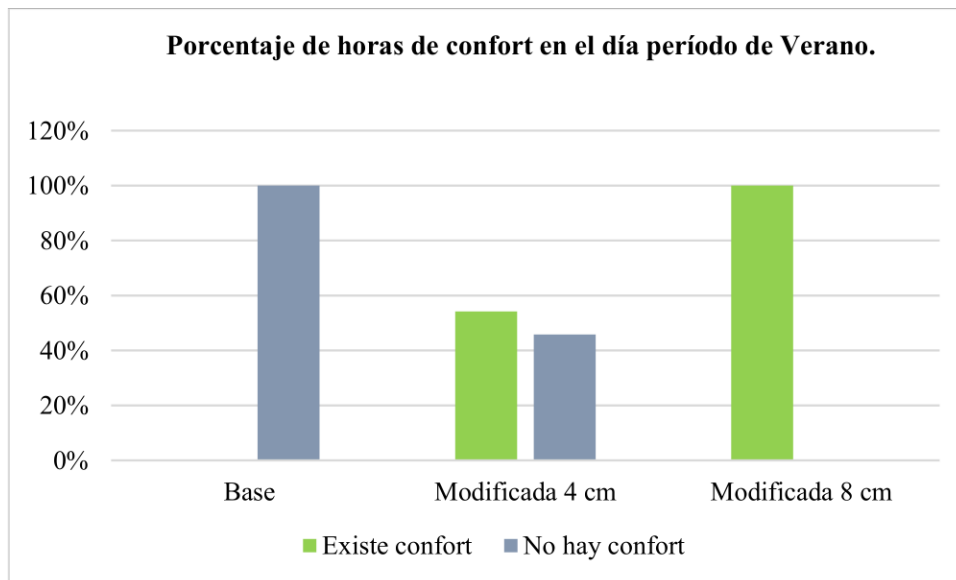
En la Tabla 24 e Ilustración 57 se muestra el porcentaje de horas de confort de cada envolvente en el periodo de verano. Se observa que la incomodidad higrotérmica es del 100% en el modelo estándar, en comparación al modelo modificado que presencia una comodidad de 54% con espesor de 4 cm y un 100% con 8 cm gracias a las temperaturas constantes con una mejor distribución en los elementos constructivos.

Tabla 24: Porcentaje de horas de confort térmico durante un día en verano.

Envolvente			
Confort	Base	Modificada 4 cm	Modificada 8 cm
Existe confort	0%	54%	100%
No hay confort	100%	46%	0%

Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 57: Porcentaje de horas de confort térmico en un día del período de verano.



Elaboración: Autores, 2021.



4.2.3. Humedad Relativa de la VIS en el período de invierno y verano

La humedad relativa en la envolvente modificada aumenta al 75.6% y 74.22% con los 4 cm y al 78.08% y 75.82% con los 8 cm en invierno y verano respectivamente en relación a la envolvente base debido al incremento en las temperaturas al interior de la vivienda al emplear el nuevo paquete constructivo, a pesar de que los datos no estén dentro del rango de confort térmico.

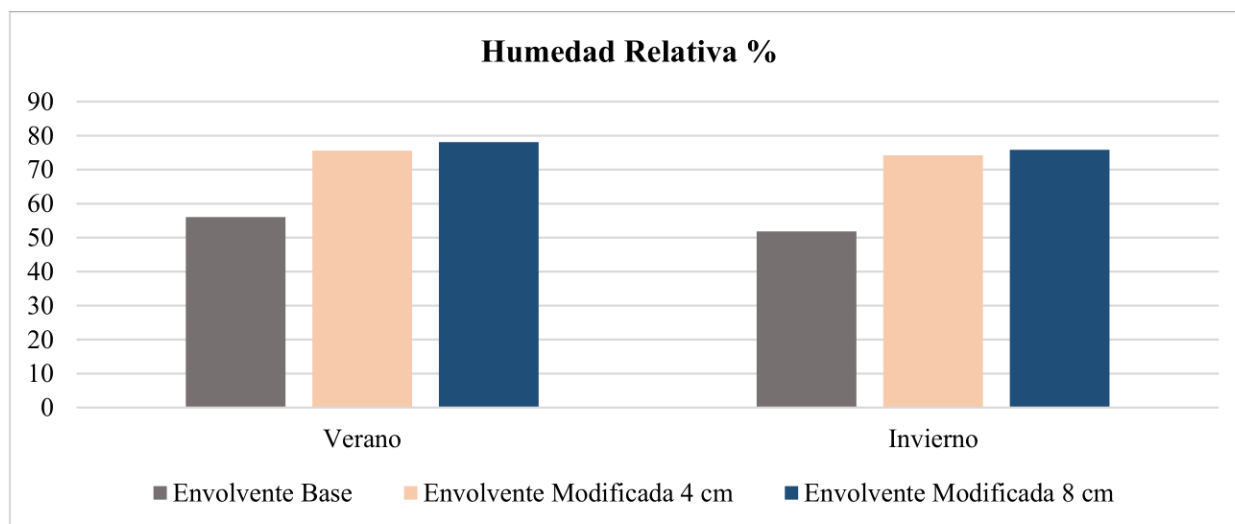
Tabla 25: Humedad relativa de las envolventes analizadas en el período de invierno y verano.

Humedad Relativa %			
Período	Envolvente Base	Envolvente Modificada	
		4 cm	8 cm
Verano	56,06	75,6	78,08
Invierno	51,83	74,22	75,82

Elaboración: Autores, 2021.

En la Ilustración 58 se presenta la humedad relativa de las envolventes generadas en el periodo de invierno y verano.

Ilustración 58: Humedad Relativa de las envolventes establecidas en invierno y verano.



Elaboración: Autores, 2021.

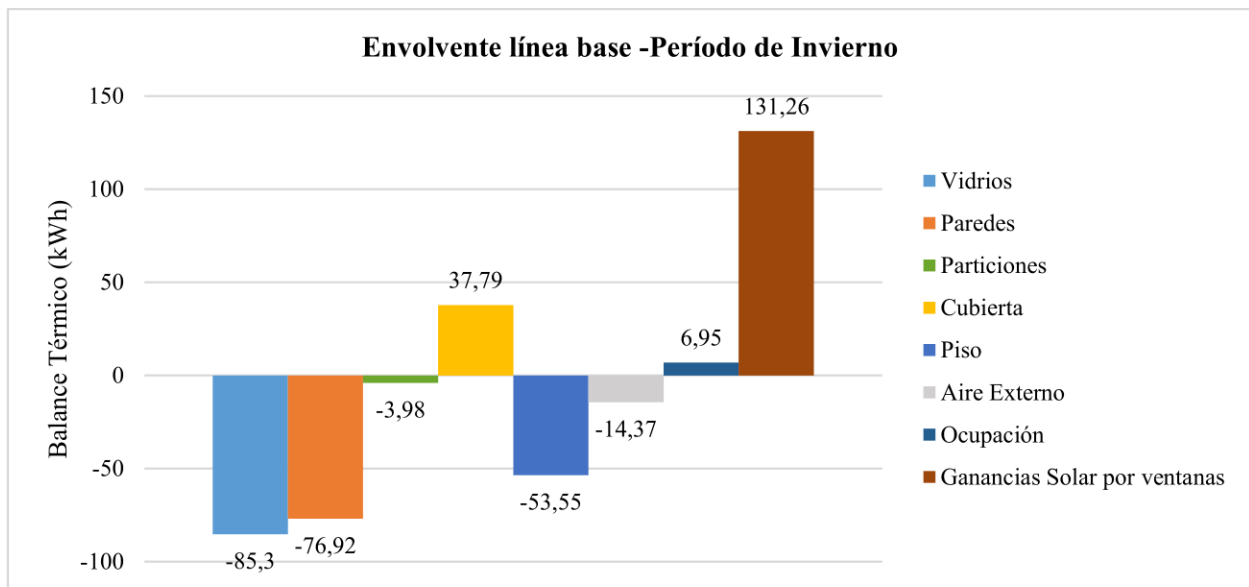


4.2.4. Balance Térmico de la VIS, período de invierno

En las Ilustraciones 59, 60 y 61 se detallan las pérdidas y ganancias de los elementos constructivos, por ocupación y radiación solar.

En la Ilustración 59 se observa que la mayor ganancia es por la incidencia solar en las ventanas y las pérdidas ocurren en todos los elementos constructivos, a excepción de la cubierta que está en contacto con la radiación del sol.

Ilustración 59: Diagrama de balance térmico del modelo línea base durante el invierno.

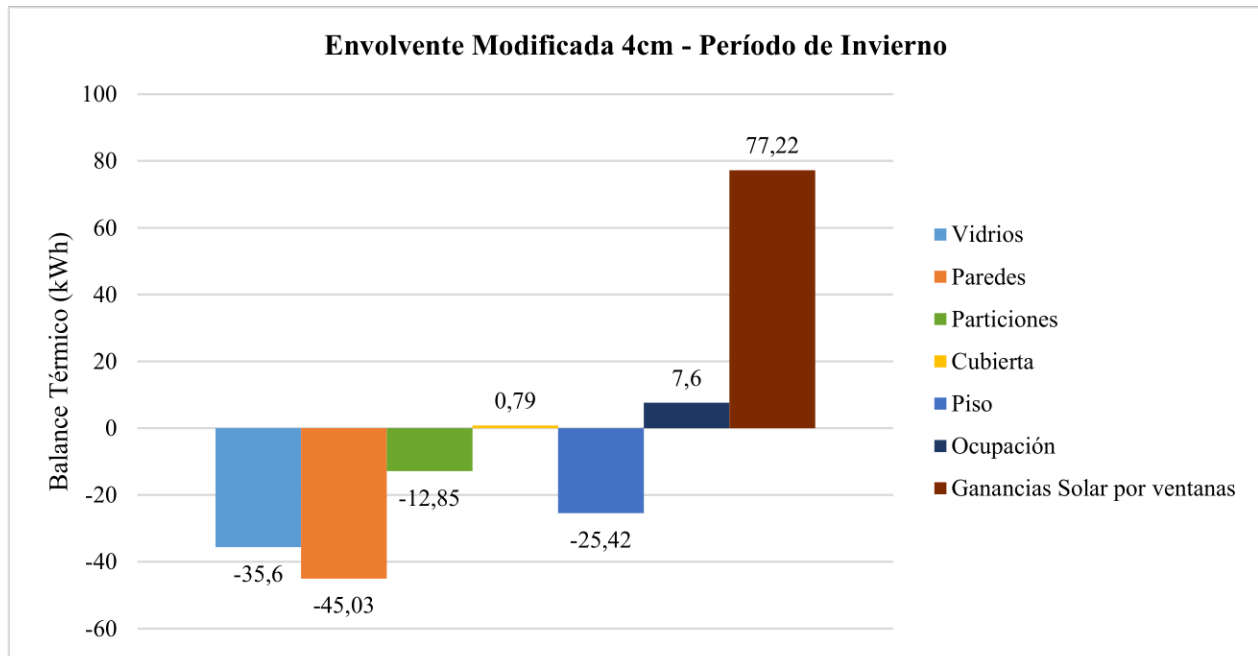


Elaboración: Autores, 2021.

En la Ilustración 60 y 61 se observa que los elementos constructivos que contienen el aislante térmico empiezan a ganar energía de igual forma el resto disminuye para alcanzar el equilibrio térmico por la uniformidad en las temperaturas en todas las zonas de la vivienda.

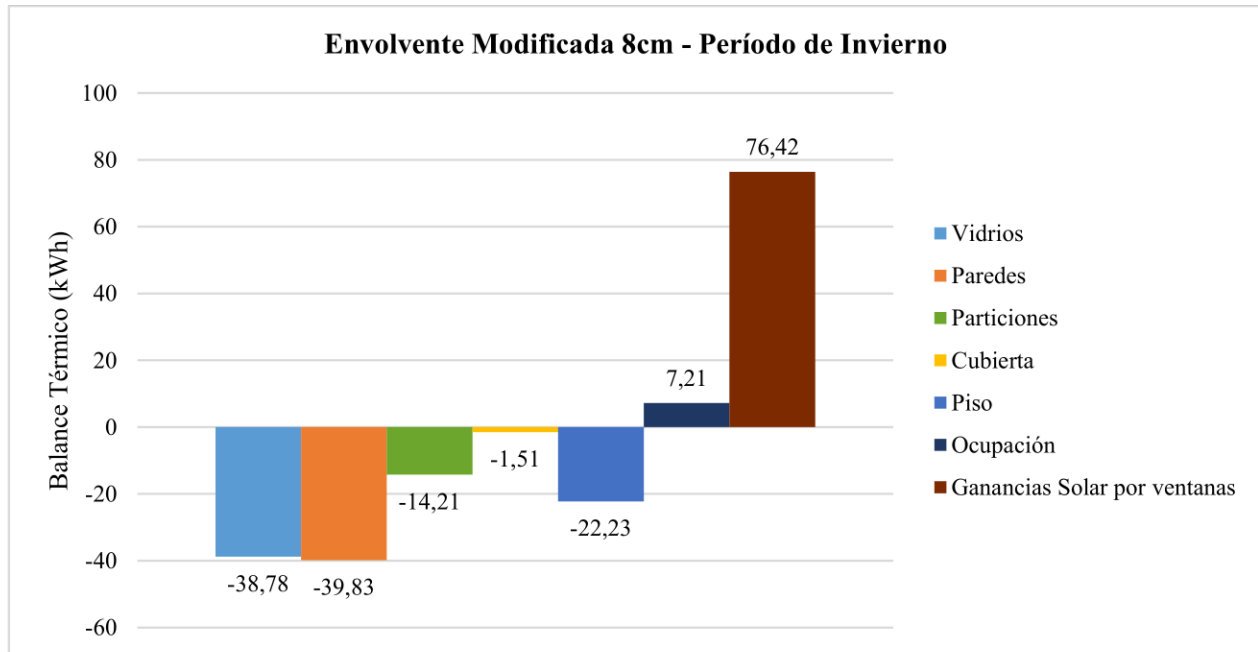


Ilustración 60: Diagrama de balance térmico de la envolvente modificada 4 cm durante el invierno.



Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 61: Diagrama de balance térmico de la envolvente modificada 8 cm durante el invierno.



Elaboración: Autores, 2021.

Mediante la Tabla 26 e Ilustración 62 se evidencia que la envolvente base al mantener su construcción estándar presenta mayores pérdidas en sus elementos, paredes y vidrios, a diferencia



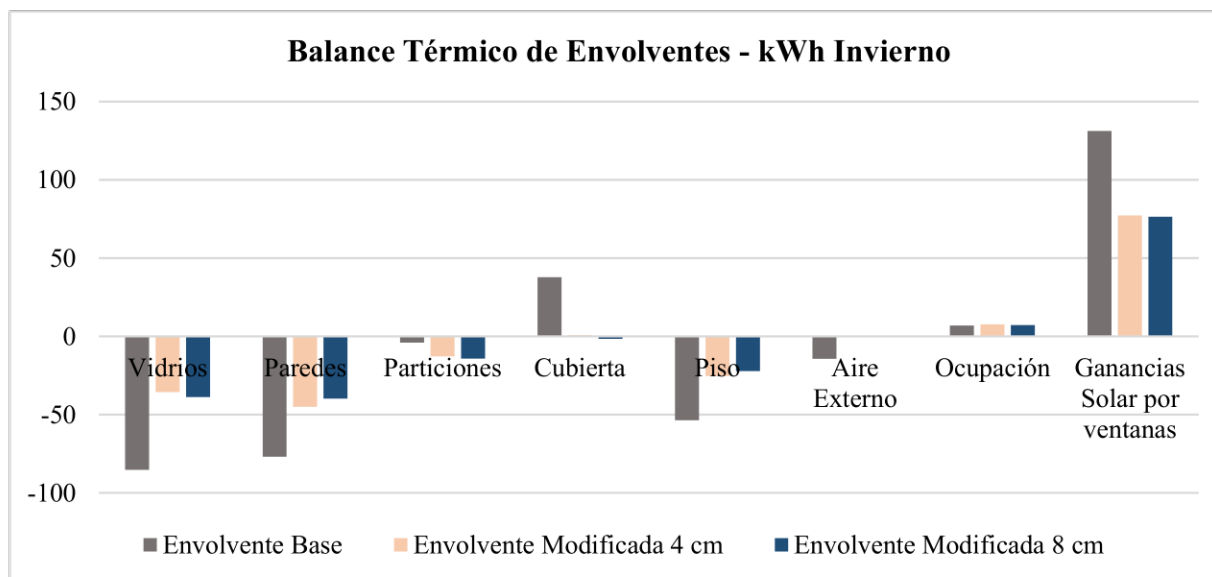
de la envolvente modificada cuyos datos disminuyen considerablemente en las zonas donde ha sido colocado el aislante térmico y en menor cantidad en los elementos adyacentes, además se constata que por la cubierta también disminuyen las ganancias debido a la ausencia solar durante este período.

Tabla 26: Análisis comparativo del balance térmico de las envolventes de estudio en invierno.

Período de Invierno			
3 - 9 de Junio			
Balance Térmico kWh	Envolvente Base	Envolvente Modificada	
		4 cm	8 cm
Vidrios	-85,3	-35,6	-38,78
Paredes	-76,92	-45,03	-39,83
Particiones	-3,98	-12,85	-14,21
Cubierta	37,79	0,79	-1,51
Piso	-53,55	-25,42	-22,23
Aire Externo	-14,37	0	0
Ocupación	6,95	7,6	7,21
Ganancias Solar por ventanas	131,26	77,22	76,42

Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 62: Diagrama comparativo del balance térmico de las envolventes en invierno.



Elaboración: Autores, 2021.

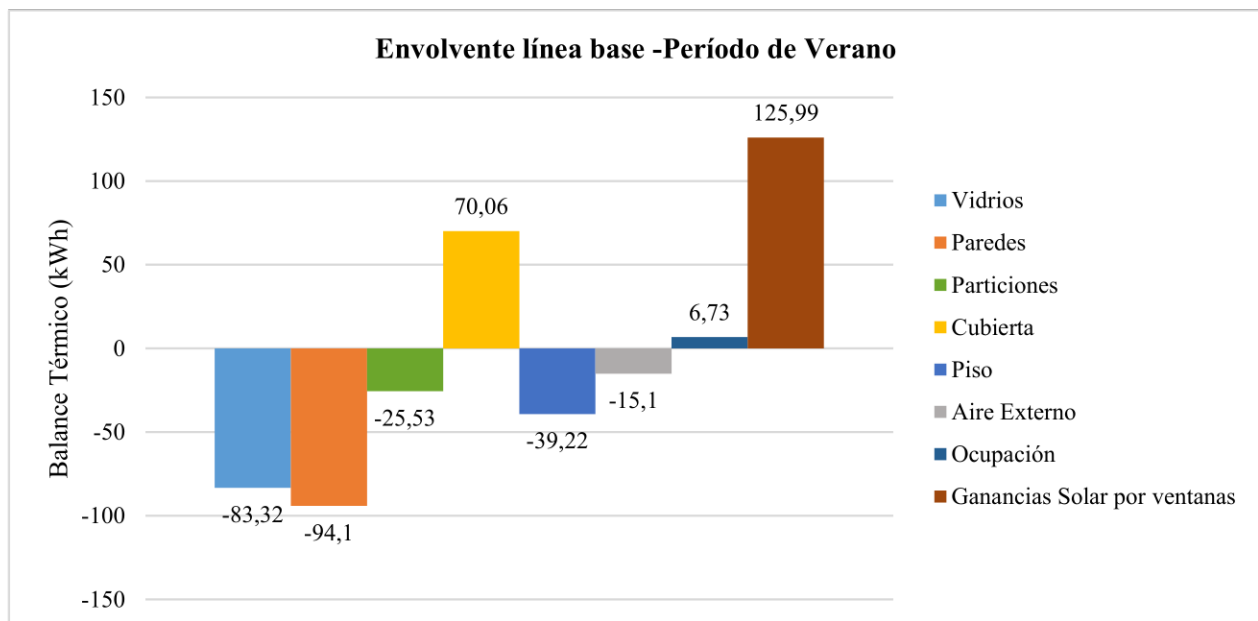


4.2.5. Balance Térmico de la VIS, período de verano

En las Ilustraciones 63, 64 y 65 se observan las pérdidas y ganancias generadas en cada elemento constructivo en el período de verano.

En la Ilustración 63 se observa que la mayor ganancia es por la radiación solar en las ventanas y cubierta y las pérdidas ocurren en gran parte en paredes y vidrios.

Ilustración 63: Diagrama de balance térmico del modelo línea base durante el verano.

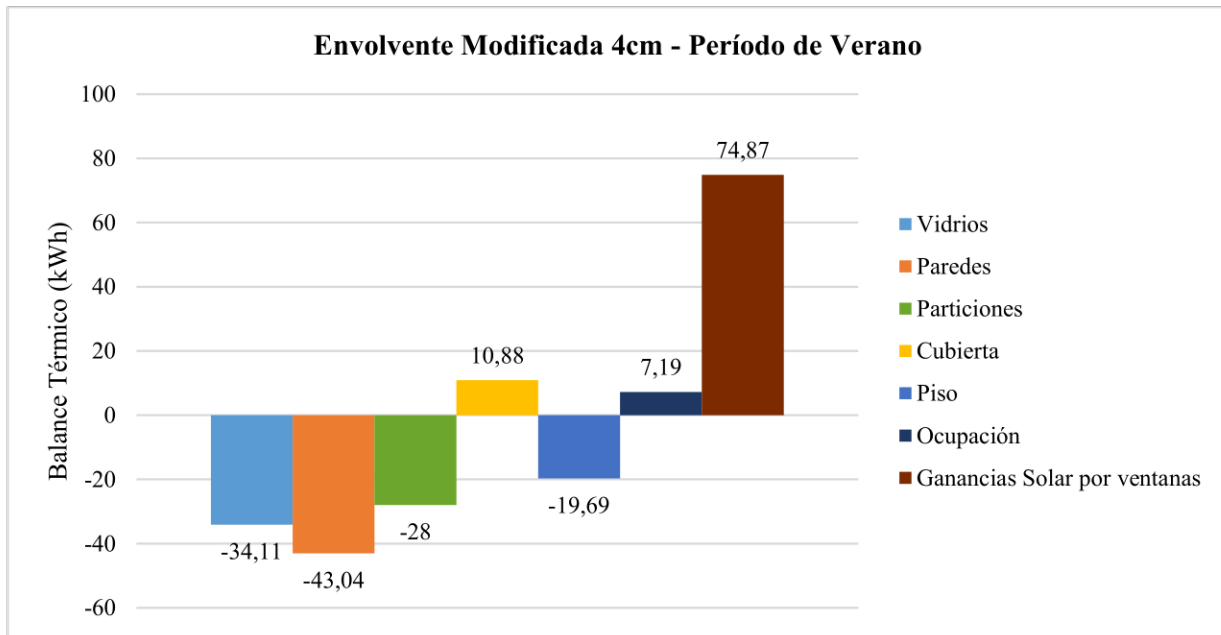


Elaboración: Autores, 2021.

En la Ilustración 64 y 65 se muestra el diagrama de balance térmico de la envolvente modificada con los diferentes espesores de aislante térmico durante el verano. Se evidencia que los elementos constructivos tienden a aumentar y disminuir sus niveles de energía para llegar a un balance entre frío y calor para brindar una mejor sensación térmica prescindiendo de aparatos de calefacción y enfriamiento.

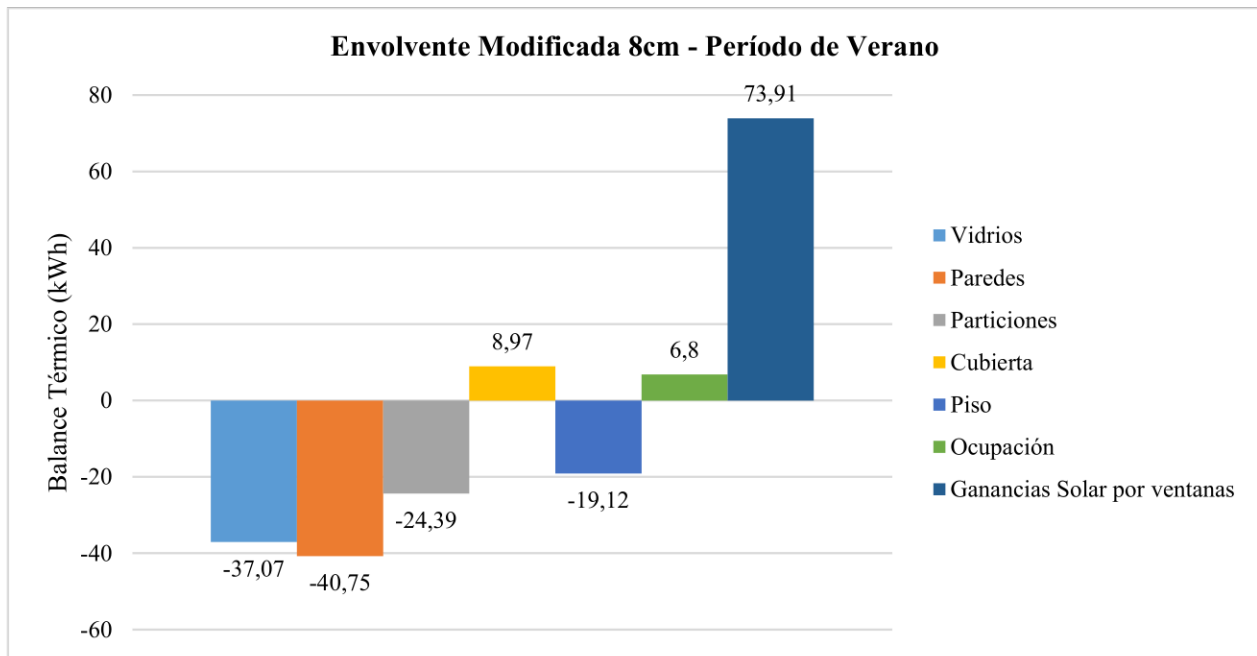


Ilustración 64: Diagrama de balance térmico de la envolvente modificada 4 cm durante el verano.



Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 65: Diagrama de balance térmico de la envolvente modificada 8 cm durante el verano.



Elaboración: Autores, 2021.

La ganancia solar por ventanas en la envolvente línea base es superior aproximadamente el doble en relación a la envolvente modificada, de igual manera sucede en la cubierta con valores que



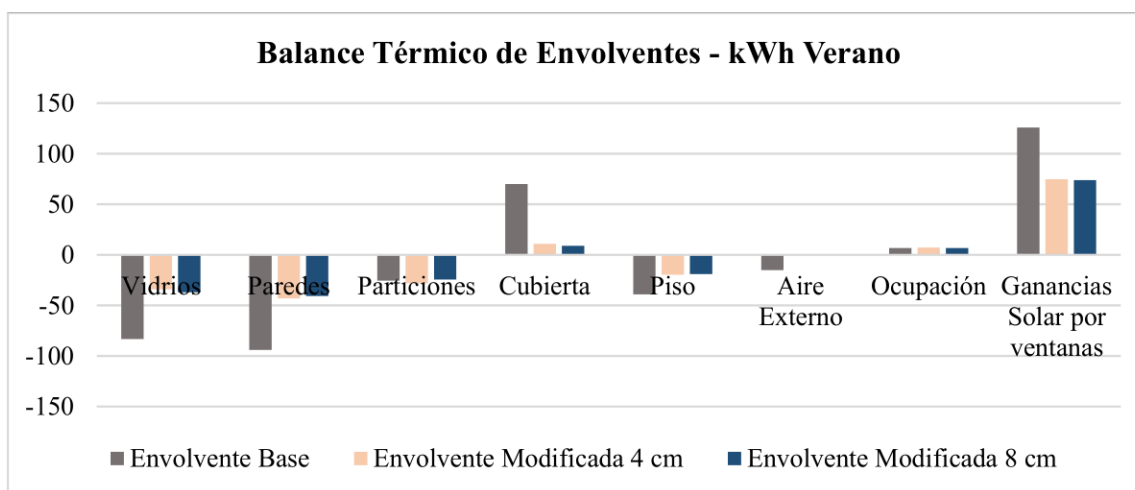
difieren significativamente. En los elementos como paredes disminuyen a -43.04 kWh con 4 cm y a -40.75 kWh con 8 cm en tanto que en el piso a -19.69 kWh y -19.12 kWh demostrando descensos cercanos al 50%, indicando que el uso del aislamiento térmico contribuye en la distribución uniforme de las temperaturas concentradas, ya sea por incidencia solar u ocupación, en los elementos constructivos, por ende, mejorando el rendimiento térmico del lugar.

Tabla 27: Análisis comparativo del balance térmico de las envolventes de estudio en verano.

Período de Verano			
8 - 14 Octubre			
Balance Térmico kWh	Envolvente Base	Envolvente Modificada	
		4 cm	8 cm
Vidrios	-83,32	-34,11	-37,07
Paredes	-94,1	-43,04	-40,75
Particiones	-25,53	-28	-24,39
Cubierta	70,06	10,88	8,97
Piso	-39,22	-19,69	-19,12
Aire Externo	-15,1	0	0
Ocupación	6,73	7,19	6,8
Ganancias Solar por ventanas	125,99	74,87	73,91

Elaboración: Autores, 2021.

Ilustración 66: Diagrama comparativo del balance térmico de las envolventes en verano.



Elaboración: Autores, 2021.



CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Importancia del reciclaje del caucho de los NFU como aislante térmico

De acuerdo a los resultados generados con la modelación de las envolventes en el programa DesignBuilder, se puede concluir las ventajas de colocar caucho reciclado de NFU como aislante térmico en los elementos constructivos, ya que gracias a sus propiedades térmicas bajas el coeficiente de transmitancia térmica del paquete constructivo reduce considerablemente a diferencia de la envolvente que usa el paquete constructivo estándar.

Al disminuir este coeficiente de transmitancia térmica y al poseer una baja conductividad térmica, de 0.049 W/m. K, correspondiendo al promedio de los valores más bajos obtenidos de diferentes fuentes bibliográficas, se puede deducir que las radiaciones solares que afectan a la vivienda disminuyen al interior de esta ya que, al estar en contacto con los materiales, las temperaturas aumentan en la parte externa, sin embargo, estas no influirán en mayor medida dentro de la VIS debido a que existe una mejor distribución en las zonas con el aislante y adyacentes.

El balance térmico presenta avances significativos y perceptibles, pues a pesar de seguir existiendo pérdidas en los elementos, estos se reducen y aumentan en comparación al modelo base llegando a estar cerca del confort térmico óptimo, en especial en las zonas donde ha sido implementado el material aislante.

El modelo de VIS con envolvente base muestra una mayor concentración de temperaturas altas en los distintos espacios de la vivienda por su construcción estándar y al no emplear materiales que tengan propiedades térmicas adecuadas para optimizar la concentración de energía contando con una distribución no uniforme, mientras que la envolvente modificada optimiza las temperaturas a



pesar de la proximidad de las zonas con mayor efecto solar ubicándolas dentro del rango de confort térmico.

En los mapas de factor de luz diurna se aprecia valores excesivos de energía solar en el área de las ventanas en las dos envolventes, sin embargo, con la envolvente modificada estos valores disminuyen progresivamente, cambiando el límite máximo de 19.81 a 13.02 %, de esta forma se distribuye mejor la luz en el resto de la superficie sin ser perjudicial para los usuarios de la vivienda. Además, se constata que en la parte intermedia de comunes con las dos envolventes se requiere de una iluminación adecuada pues las cantidades son mínimas demostrando espacios oscuros, por lo que es importante la orientación de la vivienda para reducir el consumo energético generado por luz artificial para garantizar espacios no sombríos durante la luz del día. Si en caso la orientación no es la adecuada mediante la modelación geométrica de la vivienda y el recorrido solar nos permite rediseñar nuevas aberturas.

El uso de este material como aislante térmico a más de aportar con sus beneficios en la construcción y actuar de forma similar o superior a otros aislantes existentes en el mercado, ayuda para que se puedan aprovechar de una manera productiva los materiales que componen los NFU y así reducir el impacto ambiental que causan estos.

Al reducir la infiltración del aire exterior al interior de la vivienda por aberturas en los elementos constructivos y al utilizar un material aislante que contribuya en este aspecto y controle la transmitancia de calor se tiende a mejorar la calidad de vida de los usuarios pues las temperaturas se mantendrán constantes y no existirá pérdidas inmediatas de energía a pesar de las condiciones climáticas de la zona, ya que con el trabajo conjunto tanto de la infiltración y el aislamiento se obtendrá construcciones con niveles superiores de comportamiento hermético.



5.2 Generación de directrices de construcción sostenible

Que el Estado en conjunto con las empresas productoras de neumáticos incentiven el uso del caucho de NFU como aislante térmico en viviendas de interés social, alcanzando construcciones sostenibles y amigables, brindando a la entidad constructora, en especial al MIDUVI un subsidio que ayude a solventar los gastos excedentes en base al presupuesto establecido con anterioridad.

Entidades encargadas del manejo ambiental de los desechos cooperen con la formación y desarrollo de micro o macro empresas fortaleciendo y ampliando el mercado nacional de productos obtenidos del caucho reciclado, como aislantes, hormigón rencauchutado, pisos, entre otros.

Establecimiento de normas que regulen de forma rigurosa el manejo de estos desechos, para poder otorgar un mejor uso, reduciendo la contaminación y aprovechando al máximo sus componentes y todas sus propiedades.

Los GAD Municipales de cada cantón incentiven al sector de la construcción con reducciones de costos de procesos y obtención de mayores posibilidades de conseguir un proyecto si en caso se presenta ideas innovadoras amigables ambientalmente.



5.3 Recomendaciones

La orientación de la vivienda es importante en la influencia de la radiación solar pues de esta depende el aumento o disminución de las temperaturas en los elementos constructivos de la vivienda, por ende, en el diseño arquitectónico y de iluminación artificial.

Es conveniente el uso de este aislante en las zonas donde ha sido colocado por su contribución en la ruptura del puente térmico, sin embargo, se considera que se debe implementar en la mayor parte de elementos constructivos como particiones y cubierta, así se podrá aumentar la resistencia térmica.

Se recomienda realizar un estudio a profundidad de las propiedades higrotérmicas del caucho reciclado de los NFU producidos en el país, debido a que la información existente es escasa y se tienen distintos valores según las investigaciones realizadas, lo que puede alterar los resultados de las simulaciones energéticas.

Se sugiere el análisis experimental con pruebas de laboratorio del paquete constructivo de la envolvente modificada expuesta en este estudio en comparación a una nueva envolvente que no incluya el material de espuma de poliuretano, verificando su factibilidad en las propiedades mecánicas, térmicas, físicas y químicas, mediante un prototipo.

Una construcción hermética deficiente provoca un mayor gasto de energía de la que es capaz de ahorrar un sistema, por lo que es necesario que esta sea controlada al momento de la construcción, estar pendientes que puertas y ventanas cumplan los estándares tanto en su proceso de fabricación como de instalación y así garantizar un hermetismo adecuado que permita el ahorro de energía dentro de la vivienda.



El software Meteonorm es útil para la obtención del fichero climático que será utilizado para el análisis de Weather Data por su interfaz amigable con el usuario y generación instantánea de datos, no obstante, los valores obtenidos difieren de la realidad, por lo que sería ideal que existan estaciones meteorológicas cercanas al sitio o se realice una recopilación personal de información.

Las viviendas de interés social deberían ser construidas con los materiales idóneos, teniendo en cuenta las condiciones climáticas del sitio de emplazamiento y mejorando el comportamiento térmico energético.

Con obstáculos como árboles o edificaciones alrededor de la vivienda se puede reducir el impacto directo de la energía emitida por el sol además de proyectar sombras sobre el inmueble que beneficien a los usuarios en aspectos de sensación térmica dentro de ésta.

5.4 Bibliografía

- Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, Problemas Y Estrategias. *Dearq*, 4, 14-23. <https://doi.org/10.18389/dearq4.2009.02>
- Aparicio, L. (2020). *Desarrollo de Baldosas con Caucho Reciclado de Neumáticos Fuera de Uso*. Buenos Aires: UTN.
- Araujo, J., Verdejo, R., Miguel, L., & Hernández, M. (2020). *La autorreparación: estrategia clave en el modelo de economía circular de los neumáticos*. Barcelona: Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros.
- Bonilla, C., & Velasco, J. (2017). *Estudio y Simulación de la respuesta térmica de dos modelos de vivienda de interés social en las ciudades de Esmeraldas e Ibarra*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Bruque y Zurita. (2011). *Reciclaje de Llantas para la Producción y Comercialización de Baldosas de Caucho*. Guayaquil: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL.
- Cañarte, Karem; Briones, María. (2015). *Estudio para determinar la factibilidad de la creación de una empresa reecicladora y Transformadora de Caucho Reciclado*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Castañeda, J., Cadenas, E., Heras, E., & Dominguez, G. (2018). *Energía eólica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Michoacan.
- Castejón, E. (1983). *NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación*. Barcelona.



- CIBSE. (2006). *“Environmental Design: CIBSE Guide A”*. Chartered Institution of Building .
- Crnoja, A., Kersh, V., Popov, O., & Dovhulia, A. (2020). *Laboratory Studies of the Heat-Insulating Properties of the Panels that Made of Recycled Rubber*. Houston: Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
- DesignBuilder. (2019). *DesignBuilder v6 Simulation Documentation* [DesignBuilder Software Ltd]. DesignBuilder Software Ltd. <https://designbuilder.co.uk/download/documents/407-designbuilder-printable-documentation-v6-a4-pages/file>
- Diego-Mas, J. (2015). *Método Fanger—Evaluación de la sensación térmica*. Ergoanutas Universidad Politécnica de Valencia. <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>
- Ducoy, J. (2011). *ANEXO I, METEONORM*. Obtenido de ANEXO I, METEONORM: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5145/fichero/ANEXO+I.+METEONORM.pdf>
- ECOGREEN. (2020). *Reciclaje de las Llantas*. Obtenido de Reciclaje de las Llantas: <https://ecogreenequipment.com/es/tire-shredding/>
- Ecuador, C. E. (2021). *Corporación Eléctrica del Ecuador*. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/hidropaute/images/Ambiente/Gestion.de.residuos.solidos.pdf>
- Erica. (2020). *Aislamiento Térmico*. Obtenido de Aislamiento Térmico: <http://www.eric.es/aislamiento-termico/>
- Franco, M. A. (2015). *ANÁLISIS DEL ACUERDO N.020 DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR PARA DEFINIR LA PREFACTIBILIDAD DEL DESARROLLO DE UN PLAN DE RECICLAJE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- García, A. O. (2014). *Manual de ayuda DesignBuilder en español*. 417.
- García, E. (2017). *La Economía Circular, una propuesta para la construcción del Desarrollo Sostenible*. México.
- García, M. E. (2019). *PROPUESTA DE SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN LA UNIDAD EDUCATIVA OCÉANO PACÍFICO, POSORJA, CANTÓN GUAYAQUIL, PROVINCIA DEL GUAYAS, ECUADOR*. Guayaquil: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
- Greengroup. (2021). *Simulación energética de edificios*. Obtenido de Simulación energética de edificios: <https://www.greengroup.com.ar/detalle.php?a=simulacion-energetica-de-edificios&t=15&d=119>
- Herrero del Cura, S. (2016). *INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y GRANULOMETRIA DEL CAUCHO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) Y DE LAS DIMENSIONES FISICAS EN LAS PROPIEDADES TÉRMICAS, ACÚSTICAS Y MECÁNICAS DE PLACAS DE MORTERO DE YESO-CAUCHO*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Edificación.
- Hidalgo, C. (2018). *"ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN EL PÁRAMO ANDINO DE ECUADOR: MEJORA TÉRMICA - ENERGÉTICA DE MATERIALES COMO ENVOLVENTE EN LA VIVIENDA SOCIAL"*. Cuenca: Universidad de Cuenca.



- Hittini, W., Mourad, A.-H. I., & Abu-Jdayil, B. (2020). Utilization of Devulcanized Waste Rubber Tire in Development of Heat Insulation Composite. *Journal of Cleaner Production*, 4.
- INEN, I. (2014). *Materiales y Productos para la Edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- iTeCons. (2012). *Test Report HIG 363/12 Determination of Thermal Resistance*. Coimbra, Portugal: Instituto de Investigação e Desenvolvimento em Ciências da.
- Jeanneth Caroline Galarza Galarza, Andreadel PilarSantanaArellano. (2016). NORMAS AMBIENTALES Y COMPETITIVIDAD EN LASPyMES DEL SECTOR CURTIEMBREDE AMBATO-ECUADOR. *Revista Digital de Medio Ambiente*, 2.
- Jimenez, C. (2018). *CALOR Y CALORIMETRÍA*. Obtenido de CALOR Y CALORIMETRÍA: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10196/Calor%20y%20calorimetr%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kader, M. A., Abdel-wehab, S., Helal, M., & Hassan, H. (2011). *Evaluation of thermal insulation and mechanical properties of waste rubber/natural rubber composite*. Cairo: Housing and Building National Research Center .
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo. (2019). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo de la República del Ecuador*. 31.
- Lideres, R. e. (2018). *Revista el lideres*. Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/grupo-empresas-recicla-llantas-estrategias.html>
- MAE. (2004). *LEY DE GESTION AMBIENTAL*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
- Mena-Novelo, W., Un-Aragón, R., J.E. Corona, M. R., & Oliva, A. (2015). *Determinación de la conductividad térmica de materiales en polvo de la Península de Yucatán*. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán .
- Méndez, J. (2019). *ELABORACIÓN DE MOLDES DE TEJAS PARA TECHOS CON CAUCHO RECICLADO PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL*. Guayaquil.
- MIDUVI. (2018). Lineamientos mínimos para revisión y validación de tipologías vivienda. *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*.
- MIDUVI. (2018). *Proyecto de vivienda casa para todos- CPT*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Documento-Proyecto-Casa-para-Todos-vf.pdf>
- MIDUVI. (2019). *Acuerdo Ministerial 2: Directrices para desarrollar proyectos de vivienda de Interés Social*. 31.
- MIDUVI. (2020). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda: <https://www.miduvi.net/informaci%C3%B3n>
- Ministerio del Ambiente, A. y. (2010). *Programa 'PNGIDS' Ecuador*. Obtenido de Programa 'PNGIDS' Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>



- Ministerio del Ambiente, A. y. (2021). *Gestión de Sustancias y Desechos Peligrosos*. Obtenido de Gestión de Sustancias y Desechos Peligrosos: <https://www.ambiente.gob.ec/sistema-de-gestion-de-desechos-peligrosos-y-especiales/>
- Montiel, F., Hermoso, M., & Terrados, J. (2020). Sustainability and energy efficiency: Bim 6d. study of the bim methodology applied to hospital buildings. value of interior lighting and daylight in energy simulation. *Sustainability (Switzerland)*, 12(14), 1-29. Scopus. <https://doi.org/10.3390/su12145731>
- Moreno, J. (2011). *EVALUACIÓN ENERGETICA DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN EDIFICACIÓN*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Narnol. (2020). *ARMAFLEX/ A-KAUCZUK - Aislante térmico*. Obtenido de ARMAFLEX/ A-KAUCZUK - Aislante térmico: <https://www.archiexpo.es/prod/alnor-systemy-wentylacji-sp-z-oo/product-164863-2190549.html>
- NTE INEN-ISO 7730. (2014). Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730: 2005, IDT). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*.
- Núñez et al. (2017). *Actualización de la isla de calor urbana de Madrid y su influencia en la simulación energética de edificios*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Pauta, F. (2014). La sostenibilidad en la construcción desde las perspectivas de la ordenación territorial y urbanística en Ecuador. *Universidad de Cuenca*.
- Posso y Buenaño. (2014). *Estudio del sector productivo automotriz del reciclaje de neumáticos usados para la implementación en la matriz productiva del Ecuador*. Quito: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.
- Proaño y Stacey. (2011). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICO DEL RECICLADO DEL CAUCHO Y SUS APLICACIONES EN LA CIUDAD DE QUITO*. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Proaño, I. K., & Stacey, I. E. (2011). *Estudio de factibilidad técnico-económico del reciclado del caucho y sus aplicaciones en la ciudad de Quito*. Quito.
- Ramirez, A. (2002). *La construcción sostenible*. España: Física y Sociedad 30trece.
- Robinson, Z. (2018). *Paneles Texturizados en base al Caucho reciclado para paredes interiores de Edificaciones*. Guayaquil.
- Rubberaction. (2021). *Rubberaction*. Obtenido de Rubberaction : <https://www.rubberaction.com.ec/nosotros>
- SALAMEA, A. X. (2014). *CARACTERIZACION DE CAUCHO RECICLADO PROVENIENTE DE SCRAP Y DE NEUMATICOS FUERA DE USO PARA SU POTENCIAL APLICACIÓN COMO MATERIA PRIMA*. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.
- Sectoriales, C. (2020). *Reciclaje y Gestión de Residuos*. Obtenido de Reciclaje y Gestión de Residuos: <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/304991-TNU-recuerda-los-10-Mejores-Usos-que-se-les-da-a-los-Neumaticos-Usados.html>*



- Sorgato, V. (2016). *El Comercio*. Obtenido de El Comercio:
<https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/llantas-desecho-reciclaje-contaminacion-medioambiente.html>
- Thermtest, L. A. (2020). *Thermtest Latin America*. Obtenido de Thermtest Latin America:
<https://thermtest.com/latinamerica/materiales-termicamente-conductores-y-aplicaciones-comunes>
- Tindale, A. (2014). *"DesignBuilder software"*. Gloucestershire UK.
- Universo, E. (2018). *El Universo*. Obtenido de El Universo:
<https://www.eluniverso.com/vida/2018/06/03/nota/6790121/24-millones-neumaticos-se-desechan-cada-ano-pais/>
- Verbruggen, M., Does, L., Noordermeer, J., Duin, M., & Manuel, H. (1999). *Mechanisms involved in the recycling of NR*. Rubber Chem. Technol.
- Vivienda, M. d. (2018). *NEC - HS - EE*. Quito.



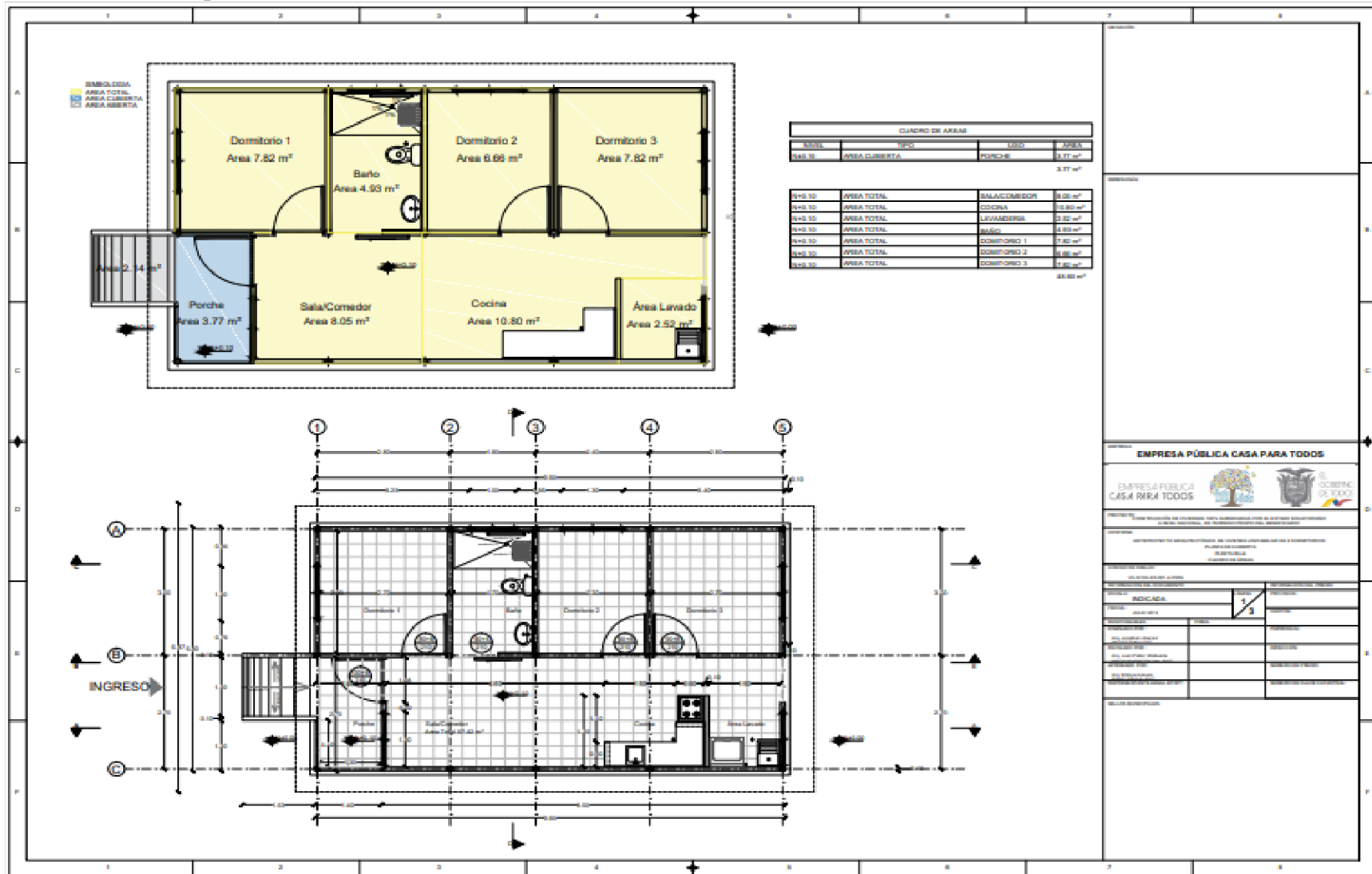
5.5 Anexos

Anexo 1: Fotografías de la visita de campo a la VIS.





Anexo 2: Vista en planta de la VIS.



**Anexo 3: Tablas para la evaluación del confort térmico en la Vivienda de Interés Social.**

Evaluación del confort térmico en un día de invierno											
	Temperatura del aire			Temperatura radiante			Temperatura operativa			Temperatura de bulbo seco	
Hora	Base	Modificada 4cm	Modificada 8cm	Base	Modificada 4cm	Modificada 8cm	Base	Modificada 4cm	Modificada 8cm		
1:00	12,95	15,32	16,41	13,1	15,24	16,35	13,03	15,28	16,38	10,02	
2:00	12,65	15,21	16,36	12,77	15,11	16,3	12,71	15,16	16,33	9,85	
3:00	12,36	15,07	16,29	12,47	14,98	16,24	12,42	15,03	16,27	9,65	
4:00	12,09	14,94	16,23	12,19	14,85	16,18	12,14	14,89	16,21	9,45	
5:00	11,84	14,8	16,17	11,92	14,71	16,11	11,88	14,76	16,14	9,32	
6:00	11,6	14,67	16,1	11,67	14,58	16,04	11,63	14,62	16,07	9,23	
7:00	11,45	14,55	16,05	11,45	14,47	15,99	11,45	14,52	16,02	9,35	
8:00	11,39	14,45	16	11,32	14,4	15,97	11,36	14,42	15,98	9,55	
9:00	11,53	14,55	16,16	11,45	14,52	16,13	11,49	14,54	16,15	10,13	
10:00	12,05	14,84	16,5	12,03	14,84	16,47	12,04	14,84	16,49	11,8	
11:00	12,82	14,9	16,56	12,75	14,9	16,56	12,79	14,9	16,56	13,2	
12:00	13,43	14,92	16,55	13,35	14,91	16,53	13,39	14,92	16,54	13,43	
13:00	13,85	15,09	16,62	13,84	15,05	16,6	13,84	15,07	16,61	13,48	
14:00	14,31	15,28	16,71	14,32	15,23	16,68	14,32	15,25	16,7	13,35	
15:00	14,92	15,59	16,93	14,94	15,53	16,87	14,93	15,56	16,9	14,13	
16:00	15,31	15,63	16,87	15,37	15,58	16,83	15,34	15,61	16,85	14,25	
17:00	15,49	15,77	16,89	15,58	15,62	16,76	15,54	15,7	16,83	13,98	
18:00	15,44	15,77	16,8	15,57	15,65	16,69	15,51	15,71	16,75	13,45	
19:00	15,2	15,79	16,73	15,32	15,57	16,54	15,26	15,68	16,64	12,93	
20:00	14,89	15,77	16,66	14,99	15,55	16,46	14,94	15,66	16,56	12,35	
21:00	14,55	15,73	16,6	14,62	15,51	16,4	14,59	15,62	16,5	11,75	
22:00	14,08	15,64	16,52	14,24	15,45	16,36	14,16	15,54	16,44	11,15	
23:00	13,67	15,51	16,43	13,86	15,36	16,3	13,76	15,44	16,37	10,55	
0:00	13,59	15,33	16,29	13,46	15,25	16,24	13,38	15,29	16,27	9,95	



Existencia de confort térmico evaluado en un día de invierno			
Hora	Envolvente base	Envolvente Modificada	
		Modificada 4cm	Modificada 8cm
1:00	NO	SI	SI
2:00	NO	SI	SI
3:00	NO	SI	SI
4:00	NO	SI	SI
5:00	NO	SI	SI
6:00	NO	NO	SI
7:00	NO	NO	SI
8:00	NO	NO	SI
9:00	NO	NO	SI
10:00	NO	SI	SI
11:00	NO	SI	SI
12:00	NO	SI	SI
13:00	NO	SI	SI
14:00	NO	SI	SI
15:00	SI	SI	SI
16:00	SI	SI	SI
17:00	SI	SI	SI
18:00	SI	SI	SI
19:00	SI	SI	SI
20:00	SI	SI	SI
21:00	NO	SI	SI
22:00	NO	SI	SI
23:00	NO	SI	SI
0:00	NO	SI	SI



Temperaturas para la evaluación del confort térmico en un día de verano										
Hora	Temperatura del aire			Temperatura radiante			Temperatura operativa			Temperatura de bulbo seco
	Base	Modificada 4cm	Modificada 8cm	Base	Modificada 4cm	Modificada 8cm	Base	Modificada 4cm	Modificada 8cm	
1:00	12,95	17,85	19,3	13,1	17,78	19,24	13,03	17,81	19,27	11,63
2:00	12,65	17,7	19,21	12,77	17,63	19,16	12,71	17,66	19,19	11,18
3:00	12,36	17,53	19,11	12,47	17,46	19,07	12,42	17,5	19,09	10,48
4:00	12,09	17,35	19,02	12,19	17,3	18,98	12,14	17,33	19	10,07
5:00	11,84	17,18	18,92	11,92	17,12	18,89	11,88	17,15	18,91	9,7
6:00	11,6	17	18,82	11,67	16,95	18,79	11,63	16,97	18,81	9,23
7:00	11,45	16,92	18,82	11,45	16,86	18,78	11,45	16,89	18,8	9,4
8:00	11,39	17,08	19,04	11,32	17,02	19,01	11,36	17,05	19,03	10,55
9:00	11,53	17	19,04	11,45	16,98	19,03	11,49	16,99	19,04	10,9
10:00	12,05	17,07	19,17	12,03	17,08	19,18	12,04	17,07	19,17	12,32
11:00	12,82	16,98	19,1	12,75	17	19,12	12,79	16,99	19,11	12,8
12:00	13,43	17,05	19,15	13,35	17,06	19,16	13,39	17,06	19,15	13,02
13:00	13,85	17,24	19,28	13,84	17,22	19,27	13,84	17,23	19,27	13,7
14:00	14,31	17,38	19,36	14,32	17,36	19,35	14,32	17,37	19,35	14,13
15:00	14,92	17,68	19,57	14,94	17,62	19,52	14,93	17,65	19,55	14,65
16:00	15,31	18,3	20,08	15,37	18,14	19,93	15,34	18,22	20	15,18
17:00	15,49	18,84	20,49	15,58	18,61	20,26	15,54	18,72	20,38	15,38
18:00	15,44	18,96	20,48	15,57	18,77	20,3	15,51	18,87	20,39	14,95
19:00	15,2	18,63	20,04	15,32	18,4	19,83	15,26	18,51	19,94	14,13
20:00	14,89	18,49	19,81	14,99	18,26	19,59	14,94	18,38	19,7	13,52
21:00	14,55	18,37	19,63	14,62	18,17	19,44	14,59	18,27	19,54	13,02
22:00	14,08	18,25	19,49	14,24	18,07	19,33	14,16	18,16	19,41	12,52
23:00	13,67	18,09	19,35	13,86	17,95	19,24	13,76	18,02	19,3	12,02
0:00	13,59	17,07	19,19	13,46	17,81	19,15	13,38	17,84	19,17	11,52



Existencia de Confort Térmico evaluado en un día de verano			
	Envolvente base	Modificada 4cm	Modificada 8cm
1:00	NO	SI	SI
2:00	NO	SI	SI
3:00	NO	SI	SI
4:00	NO	NO	SI
5:00	NO	NO	SI
6:00	NO	NO	SI
7:00	NO	NO	SI
8:00	NO	NO	SI
9:00	NO	NO	SI
10:00	NO	NO	SI
11:00	NO	NO	SI
12:00	NO	NO	SI
13:00	NO	NO	SI
14:00	NO	NO	SI
15:00	NO	SI	SI
16:00	NO	SI	SI
17:00	NO	SI	SI
18:00	NO	SI	SI
19:00	NO	SI	SI
20:00	NO	SI	SI
21:00	NO	SI	SI
22:00	NO	SI	SI
23:00	NO	SI	SI
0:00	NO	SI	SI



Anexo 4: Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger.

15/3/2021 Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

Encuesta para determinar el nivel de satisfacción de las personas respecto a su lugar de residencia en las viviendas de Interés Social.

DATOS GENERALES

1. Fecha de Levantamiento
Ejemplo: 7 de Enero de 2020
2. Lugar
3. Encuestado por:
4. Hora
Ejemplo: 8:30 am
5. Código de la Vivienda
6. Edad del encuestado
7. Género
Marca solo un óvalo.
 Mujer
 Hombre

<https://docs.google.com/forms/d/1eFcoUiUDwhzanW2nuWcUQtscen-RXEWHQjpUptvdX0/edit> 1/9



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

Encuesta para determinar el nivel de satisfacción de las personas respecto a su lugar de residencia en las viviendas de Interés Social.

DATOS GENERALES

1. Fecha de Levantamiento

Ejemplo: 7 de Enero de 2020

2. Lugar

3. Encuestado por:

4. Hora

Ejemplo: 8:30 am

5. Código de la Vivienda

6. Edad del encuestado

7. Género

Marca solo un óvalo.

Mujer

Hombre



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

8. Dirección de la vivienda

9. Sector

10. Lugar de nacimiento

11. Estado Civil

Marca solo un óvalo.

- Soltero
- Casado
- Divorciado
- Viudo
- Unión Libre

12. Miembros de la familia

Marca solo un óvalo.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

13. Trabaja

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

14. Actividad

15. Tiempo de residencia

DATOS DE LA VIVIENDA

16. Materiales de piso

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Hormigón
- Piedra
- Tierra
- Otros: _____

17. Material de Pared

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Ladrillo
- Bloque
- Prefabricado
- Otros: _____



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

18. Material de estructura

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Hormigón
- Acero
- Muros portantes
- Otros: _____

19. Material de cubierta

Marca solo un óvalo.

- Mad/hoja
- Ac/zinc
- Mad/ zinc
- Ac/Teja
- Otros: _____

20. Material de ventanas

Marca solo un óvalo.

- Mad/vidrio
- Alum/vidrio
- PVC/vidrio
- Plástico
- Otros: _____

21. Material de puertas

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Plástico
- Vidrio
- Metal
- Otros: _____



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

22. ¿Cómo es la calidad de vida de vida dentro de su vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Mala
- Regular
- Buena
- Muy Buena
- Excelente

23. ¿Cuán cómoda es la vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Incómoda
- Poco cómoda
- Cómoda
- Muy cómoda
- Bastante cómoda

24. ¿Cuánta cantidad de luz solar ingresa en el día a su vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Nada
- Muy Poco
- Algo
- Bastante
- Mucho

DATOS DE LA SENSACIÓN TÉRMICA PARA EL MÉTODO DE FANGER



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

25. En su residencia como califica su sensación térmica al interior según la siguiente escala

Marca solo un óvalo.

- Muy frío_-3
- Frío_-2
- Poco frío_-1
- Normal_0
- Poco calor_1
- Calor_2
- Mucho calor_3

26. Tipo de actividad que realiza en el interior de su vivienda

Marca solo un óvalo.

- Descanso 65W/M2
- Tasa metabólica baja 100W/M2
- Tasa metabólica moderada 165W/M2
- Tasa metabólica alta 230W/M2
- Tasa metabólica muy alta 260W/M2

27. Tiempo que permanece al interior de su vivienda habitualmente en el día

Marca solo un óvalo.

- Todo el día
- Medio día
- Noche
- Tarde
- Mañana

28. Tipo de vestimenta que utiliza para realizar su trabajo según la siguiente escala

Marca solo un óvalo.

- Desnudo 0CLO
- Ropa Ligera 0.5CLO
- Ropa Media 1CLO
- Ropa Pesada 1.5CLO



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

DATOS DE LA SENSACIÓN DE CALOR

29. ¿A tenido experiencia en residir en otro tipo de vivienda?

Marca solo un óvalo.

Sí

No

30. ¿De qué tipo era la vivienda?

Marca solo un óvalo.

Madera

Tierra

Hormigón

Ladrillo

Otros: _____

31. ¿Qué tipo de vivienda cree que es más adecuada para el clima en el que se encuentra?

Marca solo un óvalo.

Madera

Tierra

Bloque

Ladrillo

Piedra

Otros: _____



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

32. Materiales con los que construiría una nueva vivienda

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Zinc
- Hormigón
- Ladrillo
- Tierra
- Piedra
- Acero
- Plástico
- Otros: _____

33. ¿Posee algún tipo de artefacto de calefacción, ventilación o enfriamiento?

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

34. Descripción del artefacto

OBSERVACIONES

35. Observaciones



Anexo 5: Encuestas respondidas por los usuarios de la VIS

15/3/2021 Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

Encuesta para determinar el nivel de satisfacción de las personas respecto a su lugar de residencia en las viviendas de Interés Social.

DATOS GENERALES

- Fecha de Levantamiento
Ejemplo: 7 de Enero de 2020
15 de Marzo de 2021
- Lugar
El Tunbo
- Encuestado por:
Doménica Castillo
- Hora
Ejemplo: 8:30 am
18:20 pm
- Código de la Vivienda
06
- Edad del encuestado
46
- Género
Marca solo un óvalo.
 Mujer
 Hombre

CS Escaneado con CamScanner
<https://docs.google.com/forms/d/1E6wUUCWlzanV2hWcUDs0m1RXEVI1eCjpuUptvdX0/edit> 1/9



15/3/2021 Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

8. Dirección de la vivienda
Ciudadela Municipal

9. Sector
Mercado Mayorista

10. Lugar de nacimiento
Suscal

11. Estado Civil
Marca solo un óvalo.

Soltero
 Casado
 Divorciado
 Viudo
 Unión Libre

12. Miembros de la familia
Marca solo un óvalo.

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7

13. Trabaja
Marca solo un óvalo.

Sí
 No

CS Escaneado con CamScanner
<https://docs.google.com/forms/d/1eFcoUiUDwhzanW2nuWcUQtsen-RXEWHQjpUptvdX0/edit> 2/9



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

14. Actividad

Agricultor

15. Tiempo de residencia

2 años

DATOS DE LA VIVIENDA

16. Materiales de piso

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Hormigón
- Piedra
- Tierra
- Otros: _____

17. Material de Pared

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Ladrillo
- Bloque
- Prefabricado
- Otros: _____



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

18. Material de estructura

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Hormigón
- Acero
- Muros portantes
- Otros: _____

19. Material de cubierta

Marca solo un óvalo.

- Mad/hoja
- Ac/zinc
- Mad/ zinc
- Ac/Teja
- Otros: _____

20. Material de ventanas

Marca solo un óvalo.

- Mad/vidrio
- Alum/vidrio
- PVC/vidrio
- Plástico
- Otros: _____

21. Material de puertas

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Plástico
- Vidrio
- Metal
- Otros: _____



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

22. ¿Cómo es la calidad de vida de vida dentro de su vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Mala
- Regular
- Buena
- Muy Buena
- Excelente

23. ¿Cuán cómoda es la vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Incómoda
- Poco cómoda
- Cómoda
- Muy cómoda
- Bastante cómoda

24. ¿Cuánta cantidad de luz solar ingresa en el día a su vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Nada
- Muy Poco
- Algo
- Bastante
- Mucho

DATOS DE LA SENSACIÓN TÉRMICA PARA EL MÉTODO DE FANGER



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

25. En su residencia como califica su sensación térmica al interior según la siguiente escala

Marca solo un óvalo.

Muy frío_-3

Frío_-2

Poco frío_-1

Normal_0

Poco calor_1

Calor_2

Mucho calor_3

26. Tipo de actividad que realiza en el interior de su vivienda

Marca solo un óvalo.

Descanso 65W/M2

Tasa metabólica baja 100W/M2

Tasa metabólica moderada 165W/M2

Tasa metabólica alta 230W/M2

Tasa metabólica muy alta 260W/M2

27. Tiempo que permanece al interior de su vivienda habitualmente en el día

Marca solo un óvalo.

Todo el día

Medio día

Noche

Tarde

Mañana

28. Tipo de vestimenta que utiliza para realizar su trabajo según la siguiente escala

Marca solo un óvalo.

Desnudo 0CLO

Ropa Ligera 0.5CLO

Ropa Media 1CLO

Ropa Pesada 1.5CLO

<https://docs.google.com/forms/d/1eFcoUIUDwhzanW2nuWcUOtsen-RXEWHQipUptvdX0/edit>

6/9



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

DATOS DE LA SENSACIÓN DE CALOR

29. ¿A tenido experiencia en residir en otro tipo de vivienda?

Marca solo un óvalo.

Sí

No

30. ¿De qué tipo era la vivienda?

Marca solo un óvalo.

Madera

Tierra

Hormigón

Ladrillo

Otros: _____

31. ¿Qué tipo de vivienda cree que es más adecuada para el clima en el que se encuentra?

Marca solo un óvalo.

Madera

Tierra

Bloque

Ladrillo

Piedra

Otros: _____



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

32. Materiales con los que construiría una nueva vivienda

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Zinc
- Hormigón
- Ladrillo
- Tierra
- Piedra
- Acero
- Plástico
- Otros: _____

33. ¿Posee algún tipo de artefacto de calefacción, ventilación o enfriamiento?

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

34. Descripción del artefacto

OBSERVACIONES

35. Observaciones



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

Encuesta para determinar el nivel de satisfacción de las personas respecto a su lugar de residencia en las viviendas de Interés Social.

DATOS GENERALES

1. Fecha de Levantamiento

Ejemplo: 7 de Enero de 2020

15 de Marzo de 2021

2. Lugar

EL Tombo

3. Encuestado por:

Estefania Guanga

4. Hora

Ejemplo: 8:30 am

18:25 pm

5. Código de la Vivienda

06

6. Edad del encuestado

30

7. Género

Marca solo un óvalo.

Mujer

Hombre



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

8. Dirección de la vivienda

Ciudadela Municipal

9. Sector

Merado Mayorista

10. Lugar de nacimiento

Pacay

11. Estado Civil

Marca solo un óvalo.

- Soltero
- Casado
- Divorciado
- Viudo
- Unión Libre

12. Miembros de la familia

Marca solo un óvalo.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

13. Trabaja

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

14. Actividad

Agricultor

15. Tiempo de residencia

2 años

DATOS DE LA VIVIENDA

16. Materiales de piso

Marca solo un óvalo.

Madera

Hormigón

Piedra

Tierra

Otros: _____

17. Material de Pared

Marca solo un óvalo.

Madera

Ladrillo

Bloque

Prefabricado

Otros: _____



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

18. Material de estructura

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Hormigón
- Acero
- Muros portantes
- Otros: _____

19. Material de cubierta

Marca solo un óvalo.

- Mad/hoja
- Ac/zinc
- Mad/ zinc
- Ac/Teja
- Otros: _____

20. Material de ventanas

Marca solo un óvalo.

- Mad/vidrio
- Alum/vidrio
- PVC/vidrio
- Plástico
- Otros: _____

21. Material de puertas

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Plástico
- Vidrio
- Metal
- Otros: _____



15/3/2021

Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

22. ¿Cómo es la calidad de vida de vida dentro de su vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Mala
- Regular
- Buena
- Muy Buena
- Excelente

23. ¿Cuán cómoda es la vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Incómoda
- Poco cómoda
- Cómoda
- Muy cómoda
- Bastante cómoda

24. ¿Cuánta cantidad de luz solar ingresa en el día a su vivienda?

Marca solo un óvalo.

- Nada
- Muy Poco
- Algo
- Bastante
- Mucho

DATOS DE LA SENSACIÓN TÉRMICA PARA EL MÉTODO DE FANGER



Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

15/3/2021

25. En su residencia como califica su sensación térmica al interior según la siguiente escala

Marca solo un óvalo.

- Muy frío_-3
- Frío_-2
- Poco frío_-1
- Normal_0
- Poco calor_1
- Calor_2
- Mucho calor_3

26. Tipo de actividad que realiza en el interior de su vivienda

Marca solo un óvalo.

- Descanso 65W/M2
- Tasa metabólica baja 100W/M2
- Tasa metabólica moderada 165W/M2
- Tasa metabólica alta 230W/M2
- Tasa metabólica muy alta 260W/M2

27. Tiempo que permanece al interior de su vivienda habitualmente en el día

Marca solo un óvalo.

- Todo el día
- Medio día
- Noche
- Tarde
- Mañana

28. Tipo de vestimenta que utiliza para realizar su trabajo según la siguiente escala

Marca solo un óvalo.

- Desnudo 0CLO
- Ropa Ligera 0.5CLO
- Ropa Media 1CLO
- Ropa Pesada 1.5CLO



Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

15/3/2021

DATOS DE LA SENSACIÓN DE CALOR

29. ¿A tenido experiencia en residir en otro tipo de vivienda?

Marca solo un óvalo.

Sí

No

30. ¿De qué tipo era la vivienda?

Marca solo un óvalo.

Madera

Tierra

Hormigón

Ladrillo

Otros: _____

31. ¿Qué tipo de vivienda cree que es más adecuada para el clima en el que se encuentra?

Marca solo un óvalo.

Madera

Tierra

Bloque

Ladrillo

Piedra

Otros: _____



Encuesta de Sensación Térmica y Método de Fanger

15/3/2021

32. Materiales con los que construiría una nueva vivienda

Marca solo un óvalo.

- Madera
- Zinc
- Hormigón
- Ladrillo
- Tierra
- Piedra
- Acero
- Plástico
- Otros: _____

33. ¿Posee algún tipo de artefacto de calefacción, ventilación o enfriamiento?

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

34. Descripción del artefacto

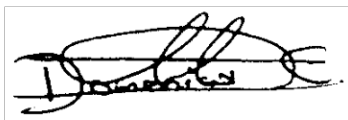
OBSERVACIONES

35. Observaciones

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotras, **Doménica Liliana Castillo Aulestia** y **Jeimmy Estefanía Guanga Tuquiñagui** portadoras de las cédulas de ciudadanía N° **0350005575** y **0107592685**. En calidad de autoras y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Aprovechamiento del caucho reciclado de los NFU como aislante térmico en una Vivienda de Interés Social”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de agosto de 2021



F:.....
Doménica Liliana Castillo Aulestia
0350005575



F:.....
Jeimmy Estefanía Guanga Tuquiñagui
0107592685