



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA DE BAJO CONSUMO  
ENERGÉTICO A SER CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE QUITO  
VALIDADO MEDIANTE INDICADORES DE CONFORT  
ADAPTATIVO DE LA NORMA ASHRAE 55.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**VILLEGAS PONCE KARLA ELIZABETH**  
karla.villegas@epn.edu.ec

**DIRECTOR: Ing. NARANJO MENDOZA CARLOS ANDRÉS, PhD**  
carlos.naranjo@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: Ing. VACA JIMÉNEZ SANTIAGO DAVID, PhD**  
santiago.vaca@epn.edu.ec

**QUITO, ENERO DEL 2022**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Karla Elizabeth Villegas Ponce**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Carlos Andrés Naranjo Mendoza, PhD

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Santiago David Vaca Jiménez, PhD

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Karla Villegas**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Autor

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme salud y fortaleza para seguir adelante.

A mis padres, con todo mi amor.

A Miguel y Daniel por apoyarme y brindarme su ayuda en todo momento.

A Rommel y Lulita por su invaluable amistad y consejos.

A Guadalupe Rodríguez (Lupita), la mejor maestra.

A Francisco por su apoyo incondicional.

A todos mis amis, quienes hicieron que mi paso por la universidad sea el mejor.

A mi Eduardo, por supuesto.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por tanto amor y apoyo desde siempre. Son mi más grande motivación y ejemplo.

Agradezco al Ecuador, a la educación pública y a la Escuela Politécnica Nacional.

Mi más sincero agradecimiento al director y codirector de este trabajo, Ing. Carlos Naranjo, PhD. e Ing. Santiago Vaca, PhD., por brindarme su apoyo, conocimiento y tiempo. Además, mi gratitud al Ing. Freddy Ordóñez, PhD. por su valiosa colaboración en todo momento. Al Ing. Paul Caicedo por su guía y consejos.

Agradezco a todos quienes me brindaron su apoyo, consejos y tiempo en el desarrollo de este trabajo.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	14
<b>Pregunta de Investigación</b> .....	15
<b>Objetivo general</b> .....	15
<b>Objetivos específicos</b> .....	15
<b>Alcance</b> .....	15
1. MARCO TEÓRICO .....	16
1.1. Antecedentes .....	16
1.2. Sistemas constructivos en el Ecuador .....	17
1.3. Confort térmico adaptativo según la norma ASHRAE 55 .....	17
1.4. Confort térmico durante horas de descanso .....	19
1.5. Diseño solar pasivo para viviendas ubicadas en Quito .....	19
1.6. Requisitos mínimos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) .....	21
1.7. Simulación energética en eQuest .....	22
1.7.1. Tipos de superficies exteriores en eQuest .....	23
1.7.2. Tipo de superficies interiores en eQuest .....	23
1.8. Estudio paramétrico mediante el uso de eQuest .....	24
2. METODOLOGÍA .....	25
2.1. Preparación del modelo de referencia .....	26
2.1.1. Ubicación y orientación de la vivienda .....	26
2.1.2. Archivo de clima .....	26
2.1.3. Forma y zonificación del modelo .....	27
2.1.4. Condiciones de borde .....	29
2.1.5. Ganancias internas .....	30
2.1.6. Parámetros constructivos de la vivienda .....	33
2.1.7. Porcentaje de acristalamiento .....	34
2.1.8. Infiltraciones y ventilación Natural .....	34
2.2. Simulación y evaluación del modelo base .....	35
2.2.1. Indicadores de disconfort térmico .....	36
2.3. Identificación y aplicación de posibles mejoras pasivas .....	37
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38
3.1. Evaluación del modelo base .....	38
3.2. Análisis semanal de las temperaturas del modelo base .....	39
3.3. Análisis de las ganancias de la envolvente en el modelo base .....	41
3.1. Estudio paramétrico de la vivienda .....	45

3.1.1.	Estudio paramétrico del espacio representativo 1 .....	46
3.1.2.	Estudio paramétrico del espacio representativo 2 .....	53
3.1.3.	Estudio paramétrico del espacio representativo 3 .....	59
3.1.4.	Estudio paramétrico del espacio representativo 4 .....	61
3.1.5.	Propuesta final de vivienda .....	66
4.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	69
	<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Rangos de temperatura operativa aceptable para espacios acondicionados naturalmente.....	18
Figura 1.2 Mapa de zonas climáticas del Ecuador .....	21
Figura 2.1 Metodología del trabajo de estudio .....	25
Figura 2.2 Fotografías del lote de terreno donde se construirá la vivienda.....	26
Figura 2.3 Ubicaciones que disponen de un archivo TMY-2018 en Quito .....	26
Figura 2.4 Planos arquitectónicos de la vivienda a construirse en el barrio de La Vicentina.....	27
Figura 2.5 Modelo de la vivienda en SketchUp .....	28
Figura 2.6 Denominación de las plantas de la vivienda.....	28
Figura 2.7 Shells creados en eQuest y su zonificación .....	29
Figura 2.8 Geometría de la vivienda en 3D.....	30
Figura 2.9 Resumen del proceso de simulación para el caso de estudio .....	35
Figura 2.10 Rango de temperatura de confort adaptativo mensual para el Centro Histórico de Quito. ....	36
Figura 3.1 Estado térmico de los espacios por departamento del modelo base.....	38
Figura 3.2 Comportamiento térmico de los espacios del departamento 1 en las semanas de estudio: a) Planta 1 b) Planta 2 c) Planta 3.....	39
Figura 3.3 Parámetros climáticos de los días de estudio. ....	41
Figura 3.4 Ubicación de los espacios representativos en el modelo .....	42
Figura 3.5 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Área social 1 .....	43
Figura 3.6 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Dormitorio 1 .....	43
Figura 3.7 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Dormitorio 2 .....	44
Figura 3.8 Posición del sol en el día 26 de abril a las 07h00.....	44
Figura 3.9 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Dormitorio 3 .....	45
Figura 3.10 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Área social 1 en el modelo base y en las configuraciones de piso. ....	46
Figura 3.11 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad para distintas configuraciones de piso.....	47
Figura 3.12 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Área social 1 en configuraciones con piso aislado y distintas configuraciones del techo.....	48
Figura 3.13 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en distintas configuraciones de techo. ....	48
Figura 3.14 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Área social 1 en configuraciones con piso aislado y diferente material de pared. ....	49
Figura 3.15 Temperatura operativas de la zona Área social 1 durante las semanas de estudio en configuraciones con diferentes tipos de material de pared. ....	50
Figura 3.16 Transferencia de calor en la pared este de la zona Área social 1 en los días de estudio con diferentes tipos de material de pared. ....	50
Figura 3.17 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en distintas configuraciones de pared. ....	50
Figura 3.18 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA B15 con distintos porcentajes de acristalamiento.....	51
Figura 3.19 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA LC con distintos porcentajes de acristalamiento.....	51



Figura 3.20 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA LM con distintos porcentajes de acristalamiento.....	52
Figura 3.21 Porcentaje de confort térmico anual de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en distintas configuraciones de pared aislada. ....	52
Figura 3.22 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Dormitorio 1 en configuraciones con techo aislado. ....	53
Figura 3.23 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones de ladrillo macizo de 20cm. ....	54
Figura 3.24 Temperaturas operativas de la zona Dormitorio 1 durante las semanas de estudio en configuraciones con diferentes tipos de material de pared. ....	55
Figura 3.25 Temperaturas operativas de la zona Dormitorio 1 durante la primera semana de enero en configuraciones con diferentes tipos de material de pared. ....	55
Figura 3.26 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Dormitorio 1 para la configuración TA LM20 el 1 de enero. ....	56
Figura 3.27 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 1 con 90% de aceptabilidad en configuraciones TA B15 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas. ....	57
Figura 3.28 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones TA LM20 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas. ....	57
Figura 3.29 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones TE LM20 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas. ....	57
Figura 3.30 Temperaturas operativas de la zona Dormitorio 1 durante las semanas de estudio en configuraciones de pared aislada. ....	58
Figura 3.31 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones con diferentes espesores de aislamiento en el suelo. ....	59
Figura 3.32 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones de techo aislado y paredes de ladrillo macizo.....	60
Figura 3.33 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA B15 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas.....	60
Figura 3.34 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA LM20 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas.....	60
Figura 3.35 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en el modelo base y en la configuración con ladrillo macizo de 20cm...	61
Figura 3.36 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con techo aislado .....	62
Figura 3.37 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en diferentes configuraciones de techo.....	63
Figura 3.38 Temperaturas operativas de la zona Dormitorio 3 durante las semanas de estudio en el modelo base y en configuraciones de techo aislado con 3cm y 5cm de EPS. ....	63
Figura 3.39 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones con distintos porcentajes de acristalamiento de la ventana este. ....	64

Figura 3.40 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones con distintos porcentajes de acristalamiento de la ventana norte.....	64
Figura 3.41 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con aislamiento total de envolvente.....	65
Figura 3.42 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones con aislamiento total de envolvente.....	65
Figura 3.43 Comparación de los porcentajes de confort térmico con el 90% de aceptabilidad .....	67
Figura 3.44 Comparación de los porcentajes de confort térmico con el 80% de aceptabilidad .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Requisitos de la envolvente para la zona climática 3 .....	22
Tabla 2.1 Altura de cada planta de la vivienda.....	29
Tabla 2.2 Condiciones de borde del techo y del piso de las zonas a evaluar .....	30
Tabla 2.3 Cargas de ocupación por zona.....	31
Tabla 2.4 Horarios de ocupación de cada planta .....	31
Tabla 2.5 Cargas de iluminación por zona .....	31
Tabla 2.6 Horarios de iluminación de cada planta.....	32
Tabla 3.1 Características de los espacios representativos.....	42
Tabla 3.2 Propiedades de los materiales utilizados para el estudio paramétrico.....	46
Tabla 3.3 Porcentaje de confort térmico anual de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad para distintas configuraciones de pared .....	52
Tabla 3.4 Análisis estadístico de la zona Dormitorio 1 en configuraciones con techo aislado .....	54
Tabla 3.5 Número de horas de confort térmico de la zona Dormitorio 1 en configuraciones de ladrillo macizo con techo expuesto y aislado .....	59
Tabla 3.6 Análisis estadístico de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con techo asilado .....	62
Tabla 3.7 Análisis estadístico de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con aislamiento total de envolvente .....	65

## RESUMEN

En las viviendas residenciales de Quito es común sentir incomodidad térmica debido a las bajas temperaturas en su interior como varios estudios lo han evidenciado. Este disconfort puede afectar la productividad y la calidad de vida de los habitantes. Por esta razón, es importante el estudio del comportamiento térmico de las viviendas desde la etapa de diseño con el fin de mejorar su ambiente interior.

El presente trabajo tiene como objetivo maximizar el número de horas de confort anual de una vivienda a construirse en la ciudad de Quito empleando el software de simulación energética eQuest. Para ello se estructuró la investigación en cuatro fases principales que son: 1) creación del modelo referencia de la vivienda empleando un sistema constructivo convencional utilizado en el Ecuador, 2) evaluación del modelo de referencia en base al modelo del confort adaptativo de la norma ASHRAE 55, 3) identificación, implementación y análisis de las estrategias pasivas orientadas a mejorar el confort térmico de la vivienda y 4) comparación entre la nueva propuesta de vivienda y el modelo de referencia.

Los resultados muestran que en el modelo de referencia la mayoría de los espacios presentan incomodidad térmica el 75% del año. Siendo los espacios de la primera planta los más afectados debido a la condición de borde del suelo. Después de la implementación de estrategias pasivas se consigue aumentar de manera significativa las horas de confort térmico en la vivienda, especialmente en zonas críticas, logrando así un ambiente térmico que brinde una mejor calidad de vida a sus ocupantes.

**Palabras clave:** confort térmico adaptativo, diseño pasivo, vivienda, Quito, temperatura interior.

## ABSTRACT

In residential houses in Quito, it is common to feel thermal discomfort because of low indoor temperatures, as several studies have shown. This discomfort can affect the productivity and the quality of life of the inhabitants. For this reason, it is important to study the thermal behavior of homes from the design stage to improve their indoor environment.

The objective of this work is to maximize the number of hours of annual comfort of a house to be built in the city of Quito using the energy simulation software eQuest. The research has structured in four main phases: 1) creation of the reference model of the house using a conventional construction system used in Ecuador, 2) evaluation of the reference model based on the adaptive comfort model of the standard ASHRAE 55, 3) identification, implementation and analysis of passive strategies aimed at improving the thermal comfort of the home and 4) comparison between the new design proposals and the reference model.

The results show that in the base model, most of the spaces are subject to thermal discomfort around 75% of the year. The spaces of the first floor are the most affected because of the floor border condition. After implementing passive strategies, it is possible to significantly increase the hours of thermal comfort in the house, especially in critical areas, thus achieving an environment that provides a better quality of life to its occupants.

**Keywords:** adaptive thermal comfort, passive design, houses, Quito, indoor temperature.

# **DISEÑO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO A SER CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE QUITO VALIDADO MEDIANTE INDICADORES DE CONFORT ADAPTATIVO DE LA NORMA ASHRAE 55**

## **INTRODUCCIÓN**

Las viviendas en América Latina se construyen a un ritmo acelerado y a gran escala. Sin embargo, una gran parte de estas construcciones se realizan sin una adecuada planificación y sin criterios energéticos, dando como resultado viviendas vulnerables, inadecuadas y/o precarias que no brindan calidad de vida a sus ocupantes [1, 2]. En consecuencia se tiene el aumento del déficit habitacional y la vulneración del derecho a la vivienda y el derecho a un hábitat seguro y saludable [3].

El déficit habitacional en el Ecuador se ha acentuado desde los años 60 y las políticas creadas durante las últimas décadas para mitigar este problema no han cumplido sus expectativas [4, 5], puesto que el déficit habitacional del país en el año 2018 alcanzó el 46,4%, siendo el 32,5% por déficit cualitativo y el 13,9% por déficit cuantitativo [6]. Esto evidencia que las políticas públicas para la vivienda deben enfocarse más en el aspecto cualitativo que en el cuantitativo. En este sentido, la Norma Ecuatoriana de la Construcción elabora la sección NE-HS-EE que tiene como objetivo regular la práctica constructiva en el sector residencial tomando en cuenta criterios de eficiencia energética que brinden calidad de vida y el confort térmico a los usuarios [7].

En varias investigaciones se ha resaltado la importancia de incorporar criterios de eficiencia energética y confort en las edificaciones residenciales en Quito. Estos estudios se realizaron de manera experimental [8–10] o utilizando simulación energética [11–14] y se han desarrollado con el fin de contribuir en la formulación de guías que permitan mejorar las características cualitativas de las mismas desde la etapa de diseño. Estas investigaciones coinciden en que para mejorar las condiciones de habitabilidad en las viviendas actuales y futuras de Quito es necesario actuar sobre los parámetros que tienen mayor influencia en el confort térmico, como: material de la envolvente y la relación de ventana-pared.

Sobre dicha base, el presente estudio tiene como fin modelar térmicamente, en eQuest, una vivienda a construirse en la ciudad de Quito con un sistema constructivo convencional, es decir empleando elementos y materiales de uso común en Ecuador, para conocer, evaluar y mejorar su comportamiento térmico anual mediante indicadores de confort e implementación de estrategias pasivas, con el fin de obtener una propuesta de diseño eficiente que garantice una mejor calidad de vida para sus ocupantes.

## **Pregunta de Investigación**

¿Cómo afecta el uso de estrategias pasivas en el confort térmico interior de una vivienda en Quito?

## **Objetivo general**

Diseñar térmicamente una vivienda de bajo consumo energético a ser construida en la ciudad de Quito y validar los resultados mediante indicadores de confort térmico adaptativo de la norma ASHRAE 55.

## **Objetivos específicos**

- Modelar una vivienda unifamiliar ubicada en el sector de la Vicentina (caso de referencia) usando como datos de entrada los sistemas constructivos convencionales.
- Identificar potenciales mejoras para incrementar el confort térmico de la misma, mediante la comparación del confort térmico de la vivienda de referencia y la vivienda propuesta.
- Analizar los beneficios obtenidos al aplicar el modelo de confort adaptativo y estrategias de diseño pasivo durante las fases de planificación y diseño de la vivienda.
- Hacer una revisión teórica que permita entender y avanzar en la discusión actual sobre criterios de confort en climas andinos.

## **Alcance**

El estudio se limita a modelar térmicamente una vivienda a ubicarse en el barrio “La Vicentina” de la ciudad de Quito durante su fase de diseño con materiales de construcción de uso convencional en el Ecuador y con estrategias de diseño pasivo.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

El acceso a una vivienda adecuada fue declarado un derecho universal por las Naciones Unidas en 1938 y en el Ecuador este derecho es reconocido como tal en el artículo 30 de su constitución [15]. Cabe destacar que, para el goce de este derecho el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC) establece que una de las características de la vivienda adecuada es la habitabilidad, lo que quiere decir que, la vivienda debe ofrecer a sus ocupantes un espacio que garantice su seguridad física, que los proteja de riesgos estructurales y de amenazas contra su salud. Por lo tanto, este derecho humano está vinculado a un nivel de vida adecuado [3].

En la región de América Latina y el Caribe existe un marcado déficit habitacional debido a que gran parte de la población no habita en viviendas adecuadas [2]. Una de las causas es el crecimiento demográfico excesivo y desordenado de las ciudades que, a su vez, no considera criterios climáticos, ni la calidad de la vida de las personas [4,16]. Este déficit habitacional se divide en cuantitativo y cualitativo, el déficit cuantitativo mide la cantidad de viviendas que deben ser construidas para los hogares que necesitan alojamiento, mientras que el déficit cualitativo son viviendas existentes que no cumplen con los requisitos mínimos para proporcionar seguridad, disponibilidad de servicios o habitabilidad a sus ocupantes [17]. En el caso de Ecuador el déficit habitacional en 2018 alcanzó el 46,4%, según datos de la INEC, siendo el 32,5% por déficit cualitativo y el 13,9% por déficit cuantitativo [6].

Por otro lado, cabe mencionar que el sector residencial es el tercer mayor consumidor de energía a nivel nacional [18] y una de las causas es el uso de equipos activos para resolver problemas de confort, especialmente en las edificaciones de bajo presupuesto que no alcanzan niveles de confort adecuados [7]. Este consumo de energía está influenciado por el clima, la estructura de la envolvente<sup>1</sup> de los edificios, la calidad del ambiente interior, la actividad de los habitantes, entre otros, y puede ser reducido si se incide durante la etapa de diseño y planificación en aspectos ligados a la composición y durabilidad del edificio [19, 20].

---

<sup>1</sup> La envolvente comprende todos los cerramientos que separan el ambiente interior del exterior [7].



En el Ecuador la mayoría de las construcciones, principalmente de interés social, tienen similares características constructivas en lo que respecta a materiales y formas. Por lo que es común los problemas de sobre calentamiento en las viviendas de la región costa y de sobre enfriamiento en viviendas de la región andina [21]. El déficit cualitativo en viviendas no permite soluciones universales, por lo cual ésta debe ser tratada de forma individual y tomando en cuenta las características diferentes en cada región [22].

## **1.2. Sistemas constructivos en el Ecuador**

Un sistema constructivo es un conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos que tienen como fin conformar una obra completa. En el Ecuador, uno de los principales sistemas constructivos convencionales es la construcción con hormigón armado y mampostería de bloque o ladrillo [23, 24]. Por otro lado, una de las alternativas de sistemas constructivos modernos con más acogida en el país es el sistema constructivo con estructura mixta, la cual consiste en estructuras con vigas o columnas de hormigón armado o de acero o una mezcla de ambos y mampostería de bloque [25].

El sistema constructivo convencional generalmente se realiza con mano de obra no calificada y materiales que varían dependiendo de la ubicación de la vivienda. Por otro lado, el sistema constructivo por estructura metálica requiere mano de obra especializada [5].

## **1.3. Confort térmico adaptativo según la norma ASHRAE 55**

El confort térmico está definido como “Esa condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” [26]. El modelo adaptativo del estándar ASHRAE 55 especifica la combinación de factores térmicos ambientales y personales que proporcionarán condiciones térmicas interiores aceptables para la mayoría de los ocupantes en un espacio acondicionado naturalmente [27–29]. Para ello las personas tienen un papel vital en este modelo y deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Permanecer al menos 15 minutos en el espacio ventilado naturalmente.
- Tener el control de ventanas y de los sistemas de acondicionamiento.
- Adaptar su vestimenta en función del clima interior y exterior.
- Desarrollar actividades solamente de reposo o sedentarias, con tasas metabólicas entre 1 y 1,3.

Las condiciones térmicas aceptables de este modelo dependen de la temperatura media exterior mensual, por lo cual el lugar, el clima y la época del año influyen directamente sobre ellas [26]. La temperatura media exterior mensual y la temperatura interior de confort se relacionan de manera lineal y se calculan con la ecuación 1 y la ecuación 2 respectivamente. Una vez conocida la temperatura interior el siguiente paso es definir rangos de temperatura en torno a la temperatura interior de confort, los cuales deben tener una aceptabilidad térmica del 80% o 90% [29]. Estos rangos se pueden calcular con las ecuaciones 2 y 3 o mediante la Figura 1.1 donde se observan dos rangos que tienen como centro la temperatura interna de confort.

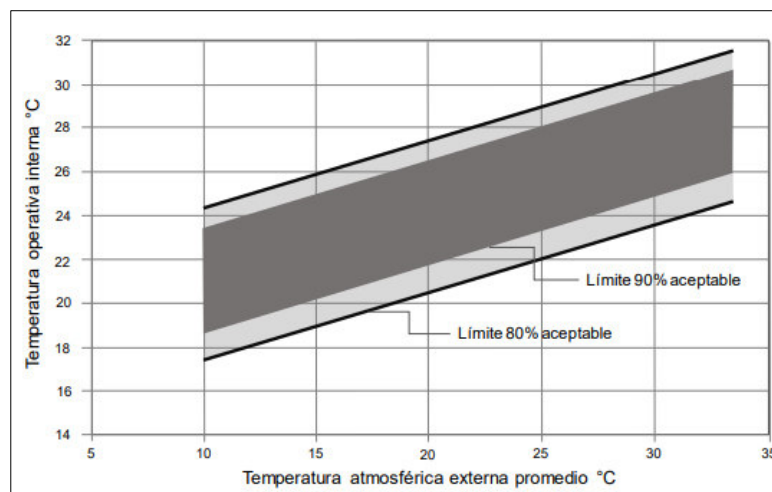


Figura 1.1 Rangos de temperatura operativa aceptable para espacios acondicionados naturalmente.  
(Fuente: [27])

$$T_{m,ext} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (1)$$

Donde:

$T_{m,ext}$  = temperatura media exterior del mes “m”.

$T_{max}$  = media de las temperaturas máximas diarias del mes “m”.

$T_{min}$  = media de las temperaturas mínimas diarias del mes “m”.

$$T_{conf} = 0,31 * T_{m,ext} + 17,8 \quad (2)$$

Donde:

$T_{conf}$  = temperatura interior de confort.

Rango de confort para una aceptabilidad del 80%:

$$T_{conf} = 0,31 * T_{m,out} + 17,8 \pm 3,5 \quad (3)$$

Rango de confort para una aceptabilidad del 90%

$$T_{conf} = 0,31 * T_{m,out} + 17,8 \pm 2,5 \quad (4)$$

Este modelo adaptativo ha sido empleado en varias investigaciones que estudian el comportamiento térmico de las viviendas en Quito para establecer indicadores de incomodidad térmica [11–13]. Estos indicadores son:

- **Disconfort:** Indicador primario que muestra porcentaje de horas al año en que la temperatura interna de una determinada zona térmica no se encuentra dentro del rango de confort definido.
- **Sobre enfriamiento:** Indicador secundario que muestra porcentaje de horas al año en que la temperatura interna de una determinada zona térmica es inferior al rango de confort definido.
- **Sobre calentamiento:** Indicador secundario que muestra porcentaje de horas al año en que la temperatura interna de una determinada zona térmica es superior al rango de confort definido.

#### 1.4. Confort térmico durante horas de descanso

Un ambiente térmicamente confortable es importante para la salud y para tener una buena calidad de sueño [30, 31]. Cuando el espacio habitado presenta sobre calentamiento o sobre enfriamiento el sueño es perturbado, siendo el sobre enfriamiento el que provoca mayor perturbación según los estudios de Okamoto-Mizuno y Tsuzuki [32] y Okamoto-Mizuno y Mizuno [33]. Por otro lado, Song [34] manifiesta que las partes expuestas del cuerpo, generalmente la cabeza, se encuentra cómoda en un rango de 11,3°C a 21,9°C. Por lo que los requisitos térmicos del estado de sueño y del estado de vigila pueden establecerse en rangos diferentes [35–37].

#### 1.5. Diseño solar pasivo para viviendas ubicadas en Quito

El diseño solar pasivo considera la captación y el uso de energía solar para mejorar la eficiencia energética de una edificación. El clima de Quito es considerado como clima frío y el mayor porcentaje de disconfort en las viviendas se debe al sobre enfriamiento [11]. En

[12, 13, 14] coinciden en que los parámetros que merecen mayor atención durante el diseño de edificaciones a construirse en Quito son: los materiales de construcción y el porcentaje de acristalamiento. Además, en estos estudios se dan recomendaciones constructivas para mejorar las condiciones ambientales internas en edificaciones. Por ejemplo, en [14] se recomienda emplear el concreto como material del techo para viviendas ubicadas en Quito pues la energía que almacena durante el día es liberada durante la noche, permitiendo temperaturas internas confortables. De igual manera en [12] se recomienda invertir mayor cantidad de recursos en la hermeticidad y masa térmica de la envolvente para influir positivamente en las condiciones ambientales internas de una edificación en Quito. Así mismo, en [12] se recomienda un porcentaje de acristalamiento global de 18% a 60% según la masa térmica y hermeticidad de la edificación. Por otro lado, en [13] el análisis de sensibilidad realizado en una vivienda genérica como parte de su estudio, muestra que el parámetro más sensible es el material de fabricación de la envolvente (23%), seguido por el WWR (22%), la tasa de renovación de aire (11%) y por último la orientación (7%). Además, menciona que las viviendas con temperaturas operativas más estables tienen los techos adiabáticos, sin embargo, esta configuración también puede alcanzar un discomfort del 70% si el resto de los parámetros no tienen las características adecuadas. Por ello, recomienda los siguientes criterios constructivos pasivos que deben aplicarse a los diseños de vivienda en Quito para un mejor comportamiento térmico en su interior.

- **Porcentaje de acristalamiento:** Un acristalamiento entre 20% y 40% resulta provechoso por las condiciones climatológicas de Quito, pero el porcentaje adecuado cambia según la condición de frontera y masa térmica. Las viviendas con menor masa térmica y menor espesor de pared, requiere mayor WWR. Por otro lado, el uso de vidrio doble no es demasiado ventajoso para las condiciones climatológicas de Quito.
- **Orientación:** la mejor orientación para las viviendas en climas andinos es Este-Oeste dado que se tiene más ganancias térmicas en las fachadas. Siendo las orientaciones al este levemente mejores que las del oeste dado que, en la ciudad de Quito los periodos de nubosidad y precipitaciones ocurren por la tarde generalmente.

- **Materiales:** se debe priorizar el uso del ladrillo con un espesor de 20 centímetros, dado que ofrece mejores condiciones térmicas y mayor inercia térmica que el bloque.

Estas estrategias deberían ser aplicadas durante las primeras etapas de los proyectos de desarrollo de hábitat en Quito y considerando las realidades de cada entorno. Sin embargo, también pueden aplicarse para mejorar las condiciones de confort de viviendas ya construidas, pero esto resultaría en un proceso más complicado porque la principal limitante sería su diseño arquitectónico. Por ejemplo, las viviendas con techo de zinc tienen un pobre desempeño térmico y es poco lo que se puede hacer en los otros parámetros para mejorar las condiciones internas de estas viviendas [28].

## 1.6. Requisitos mínimos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)

Los requisitos mínimos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) [38] para nuevas edificaciones de uso residencial se aplican de acuerdo con la zona climática en la que se encuentra la vivienda según el mapa de la Figura 1.2. En este caso, Quito se encuentra en la zona continental lluviosa, zona térmica 3, y los requisitos de la envolvente para esta zona se presentan en la Tabla 1.1.

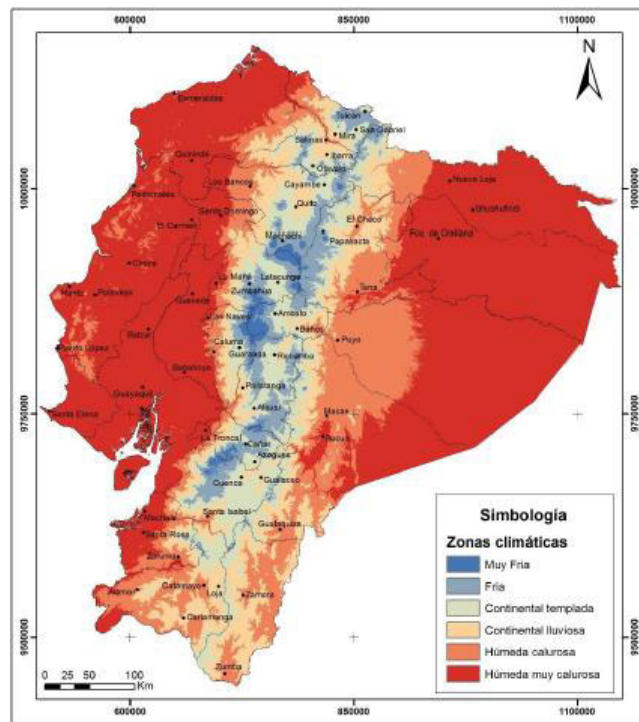


Figura 1.2 Mapa de zonas climáticas del Ecuador (Fuente: [38])

Tabla 1.1 Requisitos de la envolvente para la zona climática 3

<b>Envolvente de la vivienda</b>		
Elementos opacos	No climatizado	
	Montaje máximo [W/m <sup>2</sup> K]	Valor Min. R de aislamiento
Techos	U-2.9	R-0.89
Paredes	U-2.35	R-0.36
Pisos	U-3.2	R-0.31
Puertas opacas	U-2.6	
Ventanas	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC
Área translúcida vertical $\geq 45^\circ$	U-5.78	SHGC-0.82
Área translúcida horizontal $< 45^\circ$	U-6.64	SHGC-0.36

(Fuente: [38])

Además, la norma establece que para alcanzar estos requisitos mínimos es necesario aislar los muros que se encuentren sobre y bajo el nivel de terreno por la parte exterior de manera que el valor R nominal de aislamiento no sea menor al especificado en la tabla anterior. Asimismo, los valores de U y SHGC no deben ser mayores a los establecidos en la misma, por lo que para el proceso de construcción el fabricante debe proporcionar y certificar los valores de reflectancia solar y emitancia térmica. Por otro lado, los elementos traslúcidos verticales de la vivienda y su área total deben ser menor al 40% del área neta del muro.

## 1.7. Simulación energética en eQuest

La simulación energética de edificaciones ha sido empleada a lo largo de los años para conocer y analizar el comportamiento térmico y energético de las mismas, con el fin de conocer el uso de la energía e implementar medidas para su ahorro, reducir del impacto ambiental y mejorar el confort térmico en su interior [5]. Existen diversas herramientas para la simulación energética y su elección depende del tipo de interrogantes que se desea responder. El motor de cálculo DOE2.2 y su interfaz gráfica eQuest, son herramientas capaces de realizar un análisis del rendimiento de todo el edificio desde etapas conceptuales hasta las etapas finales de diseño [39–41]. Esto es posible dado que eQuest combina un asistente de creación de edificios, un asistente de eficiencia energética y valores predeterminados de entrada estándar obtenidos de la industria, además de un módulo de visualización para resultados gráficos [42]. Para realizar el modelamiento de una edificación en eQuest es necesario tener una comprensión clara del diseño arquitectónico del edificio a modelar y conocer aspectos como:

- **Cargas térmicas:** Están relacionadas a la cantidad de energía que un edificio intercambia con el entorno exterior e interior. Las cargas externas se relacionan a la transmisión de calor a través de las superficies, cargas por ventilación e infiltración. Mientras que las cargas internas están relacionadas con la ocupación, la iluminación y los equipos usados en el edificio. En eQuest es necesario especificar los valores de las cargas internas, así como sus horarios.
- **Materiales de construcción y sombras:** Dependiendo del estudio que desee realizarse en eQuest es necesario ingresar las dimensiones, conductividad térmica, densidad y calor específico de los materiales a utilizarse en los diferentes elementos constructivos del modelo o su coeficiente global de transferencia de calor. Asimismo, es necesario informarse sobre estructuras adyacentes o paisajes que proyecten sombra sobre el modelo de estudio.
- **Sistemas HVAC:** Consiste en información detallada del equipo de climatización, características de los equipos proporcionados por el diseñador o por el fabricante. Para edificaciones ventiladas naturalmente esta información no es necesaria.
- **Tarifas de servicios públicos:** Se debe conocer detalles de las tarifas de servicios de electricidad y gas del lugar donde se desarrolla el modelo.
- **Zonificación:** Es la división de la vivienda en zonas térmicas, es decir, en volúmenes de aire que tienen una temperatura uniforme. Una vivienda puede estar compuesta de una o varias zonas con distintos perfiles de carga.

### 1.7.1. Tipos de superficies exteriores en eQuest

Los tipos de superficies que se puede modelar en eQuest son los siguientes:

**Superficies translúcidas:** superficies de vidrio, las cuales son consideradas como una ventana por el motor de cálculo.

**Superficies opacas:** superficies internas y externas correspondientes a paredes, techo y/o suelo agrupadas por el motor de cálculo como un mismo tipo de superficie.

**Superficies subterráneas:** superficies correspondientes a sótanos y losas de cimentación, reconocidas por el motor de cálculo como paredes subterráneas.

### 1.7.2. Tipo de superficies interiores en eQuest

**Estándar:** Superficie interior que separa dos espacios y conduce el calor entre ellos.

**Adiabática:** Superficie interior que no conduce calor entre espacios, sin embargo, almacena calor. Por lo que debe ser usada como la pared, el techo o el piso que separa espacios idénticos que están uno al lado del otro o uno encima del otro.

**Interna:** Superficie interior que se encuentra completamente dentro de un espacio. Por ejemplo, una pared que separa dos habitaciones que se modelan como un solo espacio.

**Aire:** Superficie interior no física, es decir que no tiene masa, a través de la cual puede haber convección.

## **1.8. Estudio paramétrico mediante el uso de eQuest**

La simulación mediante eQuest permite al usuario modificar cualquier variable de una ejecución existente y comparar los resultados entre el modelo inicial y el modelo modificado. La ventaja de esta función radica en que los cambios se ingresan en el mismo archivo del modelo base de manera sencilla y el tiempo de ejecución de las simulaciones paramétricas es corto [41]. Durante la fase de diseño se pueden realizar estudios paramétricos de distintas variables del proyecto, por ejemplo: orientación, materialidad, tamaño y tipo de acristalamiento, entre otros. De esta manera realizar simulaciones de varias alternativas puede llevar a soluciones que mejoren significativamente el comportamiento térmico de la vivienda, así como descartar las alternativas innecesarias.

El mejoramiento de la envolvente térmica de las edificaciones permite mejorar la eficiencia energética del sector de la construcción, contribuir al desarrollo habitacional sostenible y conseguir confort térmico interior sin la necesidad de sistemas activos [44, 45]. Por ello, el estudio paramétrico de la envolvente de la vivienda es importante para el proceso de toma de decisiones del diseño de una edificación.



## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla la metodología empleada para la obtención del modelo base en eQuest de la vivienda a construirse, además se presenta el rango de confort adaptativo para la ciudad de Quito con el cual se evalúa el comportamiento de la vivienda en el periodo de un año mediante el indicador energético de horas de desconfort. Para elaborar el modelamiento de la vivienda es necesario conocer una gran cantidad de parámetros físicos de esta, como: la forma, el acristalamiento, la orientación, las propiedades térmicas de la envolvente del edificio, la ventilación, las cargas internas, horarios, entre otros [40, 41].

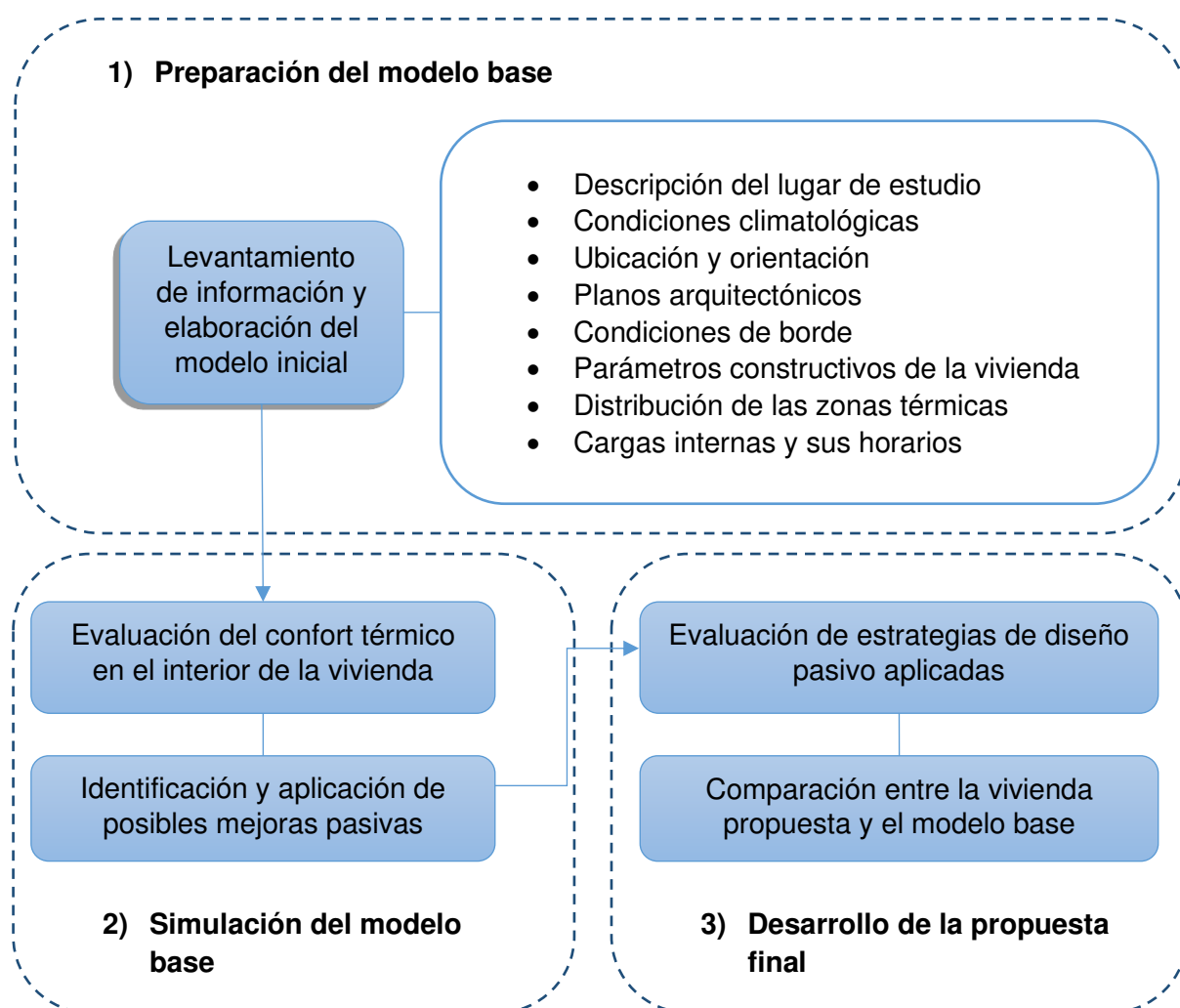


Figura 2.1 Metodología del trabajo de estudio  
(Fuente: Propia)

En la Figura 2.1. se muestra de forma esquemática la metodología a seguir en el presente manuscrito, la cual consta de 3 etapas principales.

## 2.1. Preparación del modelo de referencia

### 2.1.1. Ubicación y orientación de la vivienda

La ubicación de la vivienda a modelar es en la región andina del Ecuador, en la ciudad de Quito, barrio “La Vicentina”, a una altitud promedio de 2850 msnm. Por otro lado, la orientación de la fachada principal de la vivienda está dirigida hacia el sur suroeste.



Figura 2.2 Fotografías del lote de terreno donde se construirá la vivienda  
(Fuente: Propietario del lote de terreno)

### 2.1.2. Archivo de clima

El archivo de clima fue tomado de un año típico meteorológico (TMY) obtenido desde el sitio web de “Scinergy Meteorología” de la Escuela Politécnica Nacional, donde se encuentran disponibles los TMY-2018 de las principales ciudades del Ecuador. Los datos disponibles para Quito se muestran en la Figura 2.3.

Quito



Figura 2.3 Ubicaciones que disponen de un archivo TMY-2018 en Quito  
(Fuente: Tomado de Scinergy Meteorología-Años típicos meteorológicos (TMY))

El archivo de clima seleccionado pertenece a “Centro histórico” dado que es el punto más cercano a la ubicación de la vivienda. Después, se utilizó la herramienta “Weather statistics and conversions” del software Energy Plus para obtener un archivo .epw a partir de archivos .csv y .def, creados de acuerdo con la guía de “Auxiliary Programs” [43]. Una vez obtenido el archivo .epw se utilizó el convertidor de eQuest para obtener el archivo .bin, que es la extensión requerida para el archivo de clima de eQuest.

### 2.1.3. Forma y zonificación del modelo

La vivienda está compuesta por dos departamentos y su forma y dimensiones se obtienen por medio de su plano arquitectónico, el cual es cargado en eQuest como archivo CAD. En la Figura 2.4. se muestra la huella de la vivienda obtenida por medio de este plano para la elaboración del modelo. Además, el propietario proporcionó el modelo tridimensional de la vivienda en SketchUp para tener una mejor comprensión del modelo arquitectónico el cual se muestra en la Figura 2.5.

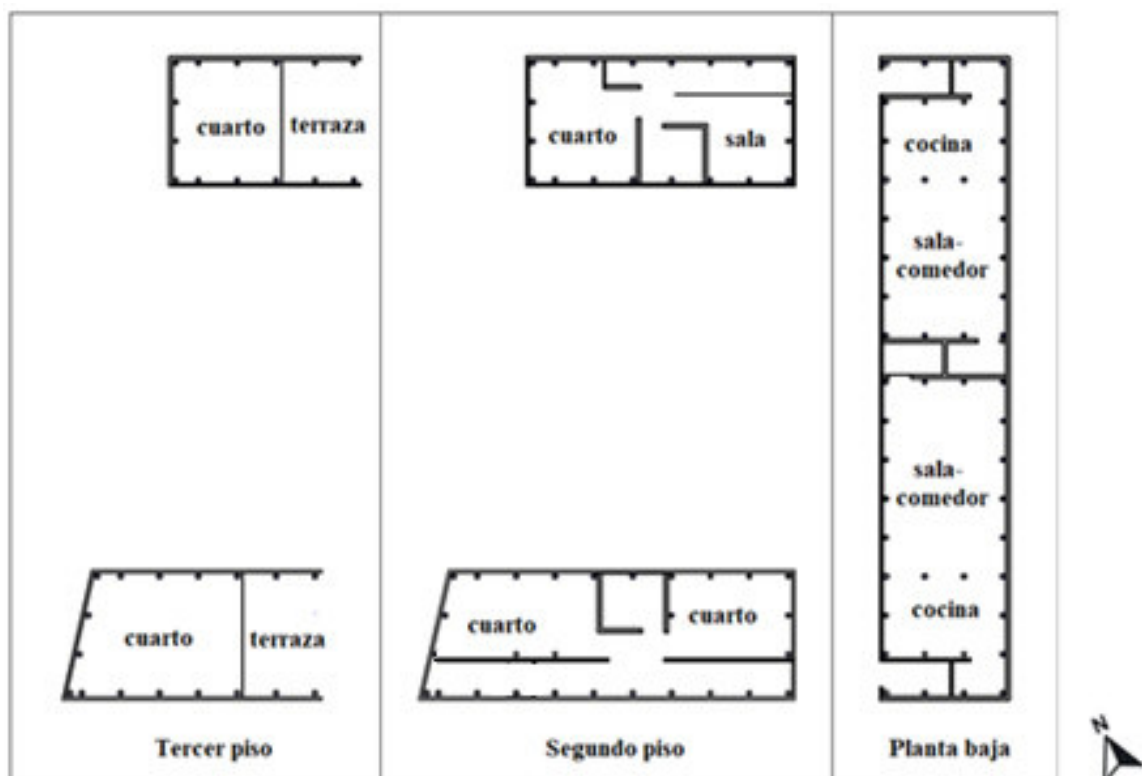
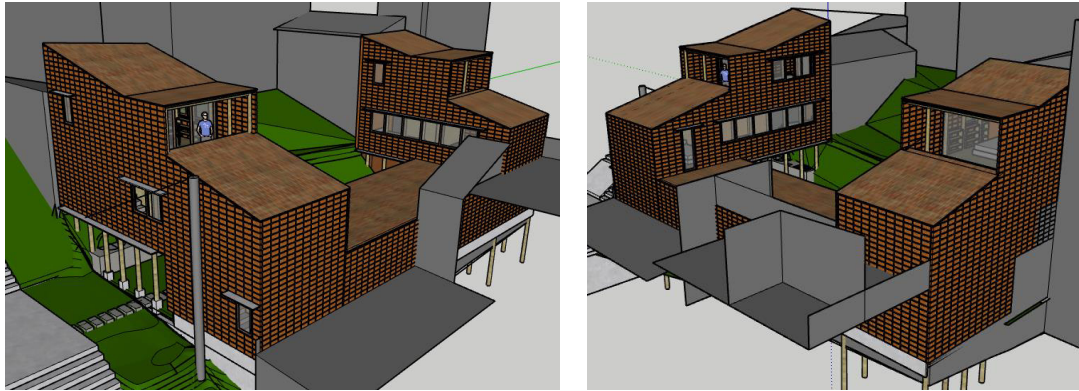


Figura 2.4 Planos arquitectónicos de la vivienda a construirse en el barrio de La Vicentina  
(Fuente: Propietario del lote de terreno)



a)

b)

Figura 2.5 Modelo de la vivienda en SketchUp  
(Fuente: Propietario del lote de terreno)

La geometría de cada planta es distinta, al igual que sus condiciones de borde, por lo que el modelamiento se realiza en el modo Design Development Wizard para crear siete shells o cortezas que permitan modelar las distintas condiciones de borde de cada espacio y zonificar cada planta de manera adecuada. La designación de cada planta para la creación de los shells se muestra en la Figura 2.6. y su zonificación se muestra en la Figura 2.7. Donde, la planta 1 abarca los espacios de los dos departamentos mientras que las plantas 2 y 3 están subdivididas según el departamento al que pertenecen, siendo el departamento 1 el que se encuentra con el frente a la calle.

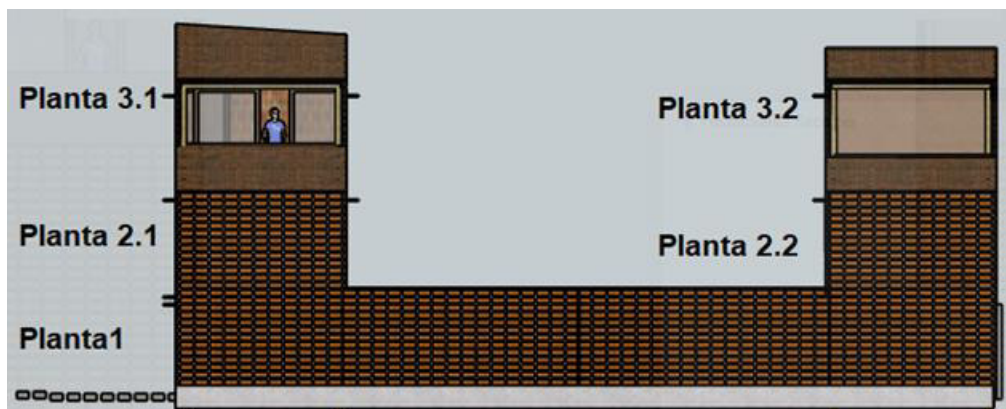


Figura 2.6 Denominación de las plantas de la vivienda  
(Fuente: Propietario del lote de terreno)

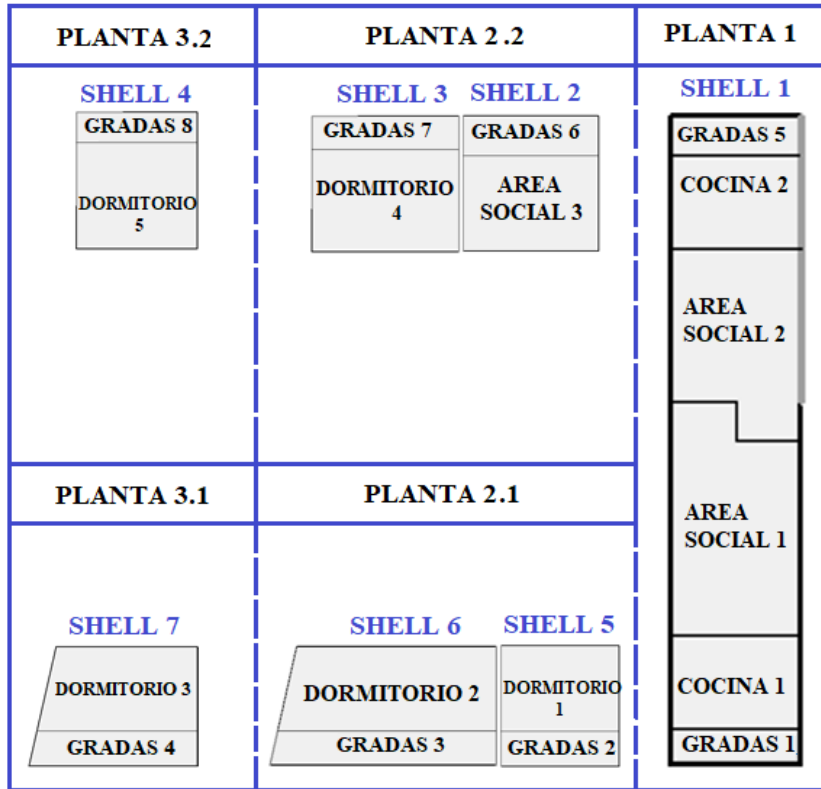


Figura 2.7 Shells creados en eQuest y su zonificación  
(Fuente: Propia)

No obstante, en el modelamiento realizado se simplifica los techos inclinados que se observan en la Figura 2.5 dado que son techos no convencionales para eQuest y pueden provocar errores en la simulación. Por lo tanto, el modelo se realiza con alturas promedio en cada planta y su valor se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Altura de cada planta de la vivienda

Planta	Altura mínima [m]	Altura máxima [m]	Altura media [m]
Planta 1	2.72	2.72	2.72
Planta 2.1	2.71	3.73	3.22
Planta 2.2	2.72	3.39	3.06
Planta 3.1	2.69	4.22	3.46
Planta 3.2	2.69	3.63	3.16

(Fuente: Propietario del lote de terreno)

#### 2.1.4. Condiciones de borde

Las condiciones de borde de cada espacio se establecen de acuerdo con el modelo de la vivienda en SketchUp, por lo que la mayoría de las paredes de la envolvente se modelan como paredes exteriores, mientras que las paredes colindantes se modelan como paredes

adiabáticas y parcialmente adiabáticas. En la Figura 2.8 se muestra la geometría en 3D de la vivienda creada en eQuest donde las paredes de color gris corresponden a paredes exteriores, las paredes blancas a paredes adiabáticas y el piso verde a piso con contacto a tierra. Por otra parte, las condiciones de borde del techo y del suelo son diferentes para cada zona a evaluar y se describen en la Tabla 2.2. Las zonas correspondientes a gradas tienen la misma condición de borde de su espacio adyacente.

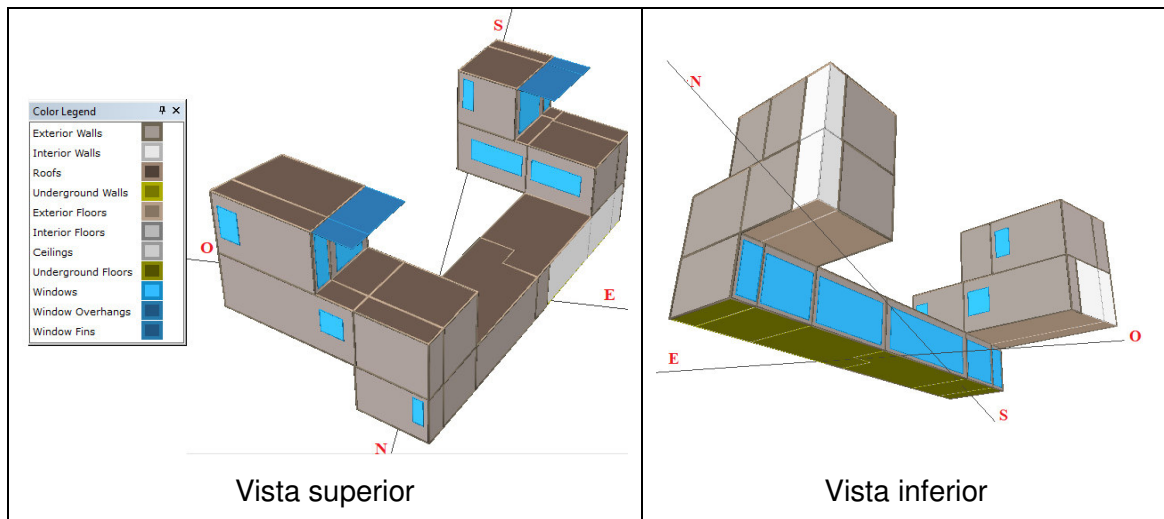


Figura 2.8 Geometría de la vivienda en 3D  
(Fuente: Propia)

Tabla 2.2 Condiciones de borde del techo y del piso de las zonas a evaluar.

Zona	Planta	Techo	Suelo
A. Social 1	Planta 1	Expuesto	Contacto tierra
A. Social 2	Planta 1	Expuesto	Contacto tierra
Cocina 1	Planta 1	Adiabático	Contacto tierra
Cocina 2	Planta 1	Adiabático	Contacto tierra
Dormitorio 1	Planta 2	Expuesto	Adiabático
Dormitorio 2	Planta 2	Adiabático y expuesto	Expuesto
A. Social 3	Planta 2	Expuesto	Adiabático
Dormitorio 4	Planta 2	Adiabático y expuesto	Expuesto
Dormitorio 3	Planta 3	Expuesto	Adiabático
Dormitorio 5	Planta 3	Expuesto	Adiabático

(Fuente: Propia)

### 2.1.5. Ganancias internas

Las ganancias internas provienen de tres fuentes que son: ocupación, iluminación y equipos. Estas ganancias tienen cargas y horarios que se establecen de acuerdo con la

información proporcionada por el propietario y de acuerdo con los usos finales de cada zona. Para las cargas de iluminación se ha establecido el uso de focos de bajo consumo y para la carga de equipos se asumió el uso de dispositivos electrónicos de uso común en las viviendas.

Tabla 2.3 Cargas de ocupación por zona

Zona	Área [m <sup>2</sup> ]	Ocupantes [U]	Diseño máx. de ocupantes [m <sup>2</sup> /persona]
A. Social 1	26.01	4	7
A. Social 2	21.21	4	5
A. Social 3	11.26	4	3
Cocina 1	11.26	3	4
Cocina 2	11.32	3	4
Dormitorio 1	11.10	1	11
Dormitorio 2	20.09	2	10
Dormitorio 3	14.10	1	14
Dormitorio 4	13.02	2	6.5
Dormitorio 5	10.94	1	11

(Fuente: Propia)

Tabla 2.4 Horarios de ocupación de cada planta

Planta 1		Planta 2		Planta 3	
Hora	Valor [%]	Hora	Valor [%]	Hora	Valor [%]
00h00-06h00	0	00h00-06h00	100	00h00-06h00	100
06h00-07h00	100	06h00-07h00	20	06h00-07h00	50
07h00-13h00	0	07h00-13h00	0	07h00-13h00	0
13h00-20h00	60	13h00-20h00	40	13h00-20h00	50
20h00-24h00	0	20h00-24h00	100	20h00-24h00	100

(Fuente: Propia)

Tabla 2.5 Cargas de iluminación por zona

Zona	Área [m <sup>2</sup> ]	Iluminación [W]	Densidad de potencia de iluminación [W/m <sup>2</sup> ]
A. Social 1	26.01	40	1.54
A. Social 2	21.21	40	1.89
A. Social 3	11.26	20	1.78
Cocina 1	11.26	40	3.55
Cocina 2	11.32	40	3.53
Dormitorio 1	11.10	20	1.80
Dormitorio 2	20.09	20	1.00
Dormitorio 3	14.10	20	1.42
Dormitorio 4	13.02	20	1.54
Dormitorio 5	10.94	20	1.83

(Fuente: Propia)

Tabla 2.6 Horarios de iluminación de cada planta

Planta 1		Planta 2		Planta 3	
Hora	Valor [%]	Hora	Valor [%]	Hora	Valor [%]
00h00-06h00	0	00h00-06h00	0	00h00-06h00	0
06h00-07h00	25	06h00-07h00	25	06h00-07h00	50
07h00-17h00	0	07h00-17h00	0	07h00-17h00	0
17h00-22h00	100	17h00-22h00	50	17h00-22h00	50
22h00-24h00	50	22h00-24h00	100	22h00-24h00	100

(Fuente: Propia)

Tabla 2.7 Cargas de equipos por zona

Zona	Área [m <sup>2</sup> ]	Equipos [W]	Densidad de potencia de equipos [W/m <sup>2</sup> ]
A. Social 1	26.01	530	20.37
A. Social 2	21.21	530	24.99
A. Social 3	11.26	210	18.65
Cocina 1	11.26	850	75.49
Cocina 2	11.32	850	75.12
Dormitorio 1	11.10	210	18.92
Dormitorio 2	20.09	210	10.46
Dormitorio 3	14.10	210	14.89
Dormitorio 4	13.02	210	16.13
Dormitorio 5	10.94	210	19.19

(Fuente: Propia)

Tabla 2.8. Horarios de equipos de cada planta

Planta 1		Planta 2		Planta 3	
Hora	Valor [%]	Hora	Valor [%]	Hora	Valor [%]
00h00-06h00	10	00h00-06h00	0	00h00-06h00	0
06h00-07h00	25	06h00-07h00	50	06h00-07h00	20
07h00-17h00	10	07h00-13h00	0	07h00-17h00	0
17h00-22h00	60	13h00-22h00	20	17h00-22h00	50
22h00-24h00	10	22h00-24h00	10	22h00-24h00	20

(Fuente: Propia)



### 2.1.6. Parámetros constructivos de la vivienda

Los materiales asignados para el modelo base son materiales de uso común en el Ecuador y se describen en la Tabla 2.9. Además, el tipo de construcción que va a ser utilizado en este modelo es tipo “Delay” o método de capas, para lo cual es necesario ingresar en el programa las propiedades de los materiales descritas en la Tabla 2.10. El tipo de acristalamiento de la vivienda es vidrio claro simple de 3 milímetros de espesor con propiedades extraídas de la biblioteca DOE-2 [44].

Tabla 2.9 Componentes de la envolvente del modelo base

Elemento constructivo	Componentes
Paredes	Enlucido exterior Bloque/Ladrillo Enlucido interior
Techos interiores	Hormigón armado
Techo Expuesto	Concreto de mediana densidad
Piso	Piedra
	Hormigón
Ventanas	Vidrio simple transparente de 3 mm
Marco de ventanas	Perfilería de aluminio

(Fuente: Propia)

Tabla 2.10 Propiedades de los materiales de la envolvente del modelo base

Componentes	Espesor [cm]	Conductividad [W/mK]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/kgK]
Enlucido exterior	1	0.5	1300	837.36
Bloque de concreto	15	0.62	1040	840
Enlucido interior	1	0.72	1760	837.36
Hormigón armado	20	2.3	2400	1050
Concreto de mediana densidad	20	1.35	1800	1000
Piedra	10	3.49	2880	840
Hormigón	7	1.35	2220	837

(Fuente: [38])

### 2.1.7. Porcentaje de acristalamiento

El porcentaje de acristalamiento es diferente entre plantas y zonas, como se muestra en el modelo de SketchUp. Por ello, en el modelo de eQuest este porcentaje se modela con respecto al área neta de cada muro y su valor se presenta en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Acristalamiento de cada espacio

Departamento	Espacio	Dirección	Acristalamiento
1	A. social 1	Oeste	60%
	Cocina 1	Oeste	60%
	Gradas 1	Oeste	60%
		Sur	10%
	Dormitorio 1	Norte	30%
	Dormitorio 2	Norte	30%
	Gradas 3	Sur	10%
	Dormitorio 3	Norte	10%
		Este	60%
	Gradas 4	Sur	10%
Este		60%	
2	A. social 2	Oeste	60%
	Cocina 2	Oeste	60%
	Gradas 5	Oeste	60%
	A. social 3	Sur	30%
	Dormitorio 4	Sur	30%
	Dormitorio 5	Sur	10%
		Este	60%
	Gradas 8	Este	60%

(Fuente: Propia)

### 2.1.8. Infiltraciones y ventilación Natural

Las infiltraciones en el modelo se modelan empleando el método de cambio de aire por hora (ACH por sus siglas en inglés) con un valor de 0.4, de acuerdo con lo recomendado en la bibliografía [13]. Por otro lado, la ventilación natural de la vivienda está relacionada con la apertura del 30% de las ventanas durante un horario determinado. Para este caso de estudio la ventilación natural de todos los espacios se produce en el horario especificado en la Tabla 2.12. siempre y cuando la temperatura interna del espacio alcance los 22°C y se cierran si la temperatura llega a ser menor a este valor o cuando el horario lo ordena.

Tabla 2.12. Horario de ventilación natural

Ventilación Natural	
Hora	Estado
00h00-07h00	0
07h00-18h00	1
18h00-24h00	0

(Fuente: Propia)

## 2.2. Simulación y evaluación del modelo base

La ejecución de eQUEST simula el comportamiento de la vivienda hora a hora durante todo un año (8760 horas) y una vez ingresados todos los parámetros de entrada del modelo base descrito en la sección 2.1. se procede a la creación de los reportes horarios en el que se especifican todas las variables que se desea obtener de la simulación. En este caso de estudio se generaron reportes con los valores de temperatura exterior de bulbo seco (TBS), temperatura del suelo, radiación global, temperatura de cada zona térmica y las ganancias a través de todos los elementos de la envolvente por cada zona. En la Figura 2.9 se muestran las entradas y la salida en eQuest para este caso de estudio.

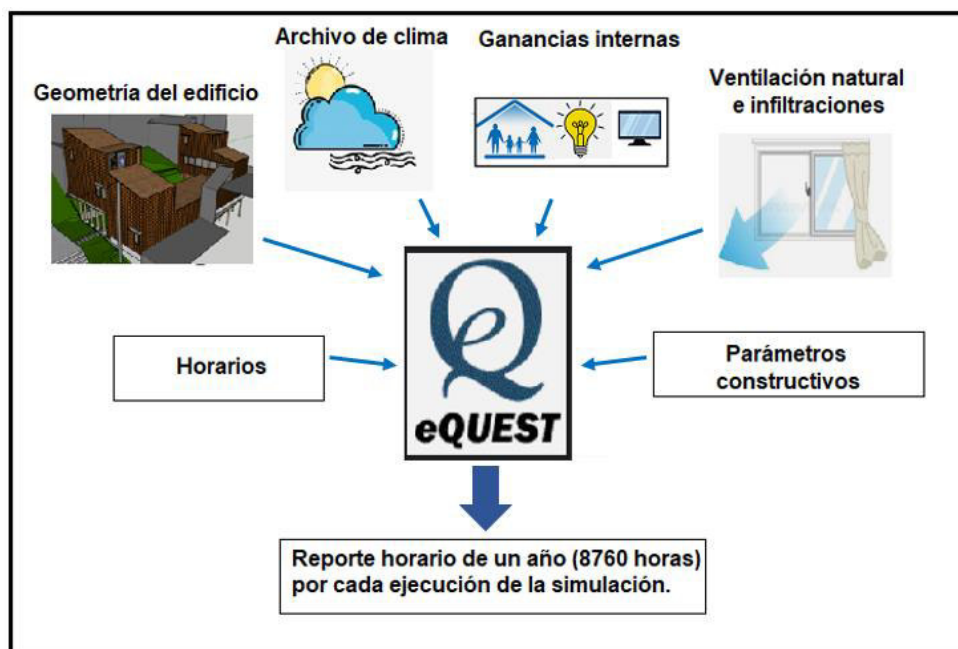


Figura 2.9 Resumen del proceso de simulación para el caso de estudio  
(Fuente: Propia)

Una vez finalizada la simulación, eQuest permite exportar las variables mencionadas en archivos CSV para después conocer y evaluar el estado térmico interior de cada espacio

de la vivienda dentro del periodo de un año (8760 horas) y, a su vez, analizar la incidencia de factores climáticos en el comportamiento de sus elementos constructivos. Como resultado final se conocerán los espacios y puntos críticos sobre los que se debe intervenir de manera prioritaria.

### 2.2.1. Indicadores de desconfort térmico

A partir de los datos del archivo de clima utilizado se obtuvo la temperatura media externa de cada mes con el fin de calcular los rangos de temperatura de confort adaptativo mensual. Para ello se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3 descritas en la sección 1.3. y los resultados se muestran en la Figura 2.10.

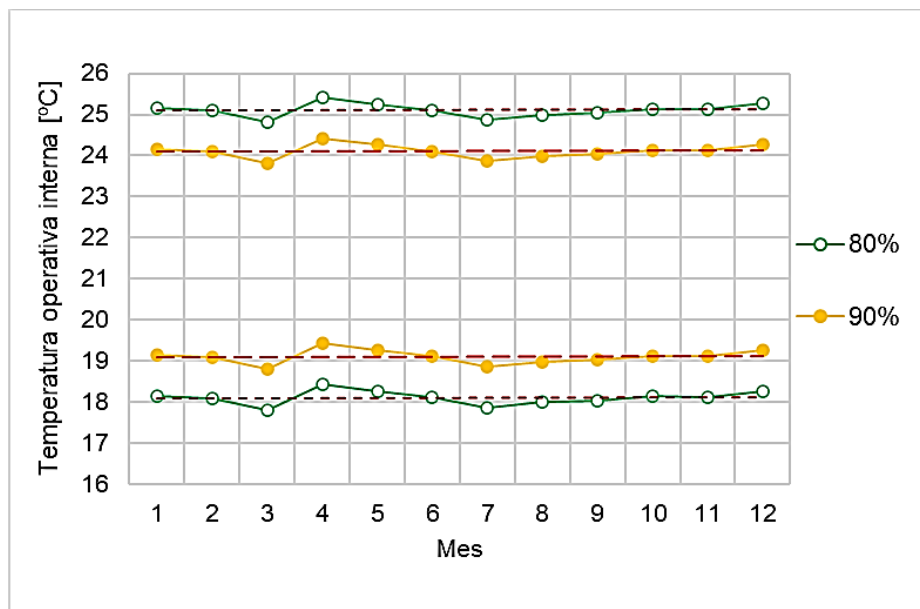


Figura 2.10 Rango de temperatura de confort adaptativo mensual para el Centro Histórico de Quito.  
(Fuente: Propia)

Se observa que los rangos de confort no difieren de manera significativa a lo largo del año, por lo que se establece un rango constante de confort para la vivienda según la aceptabilidad. Para una aceptabilidad del 80% el rango de confort estará entre 18°C y 25°C, mientras que para una aceptabilidad del 90% estará entre 19°C y 24°C. Es pertinente resaltar que el cumplimiento de estos niveles de confort son prioridad para el desarrollo de esta investigación y, en consecuencia, para el diseño de la propuesta final.

### **2.3. Identificación y aplicación de posibles mejoras pasivas**

Para la identificación de mejoras pasivas fue necesario evaluar el comportamiento de la envolvente en cada espacio. Esto se realizó en dos días diferentes del año, seleccionados según la temperatura exterior de bulbo seco, un día con alta temperatura promedio (26 de abril) y el otro con baja temperatura promedio (22 de julio). Esto permite definir la necesidad específica de cada espacio y qué intervenciones requiere la vivienda para aumentar las horas de confort. Una vez identificadas las posibles soluciones se procede a realizar un estudio paramétrico que permita comparar el comportamiento energético y el confort térmico de la vivienda de referencia y la vivienda modificada para saber cómo y en qué medida estas estrategias favorecen a tener un ambiente térmico confortable. Para ello, las estrategias pasivas a implementarse en este caso deben favorecer al aprovechamiento máximo de la radiación solar y por otro lado impedir las pérdidas de calor a través de las superficies críticas que se describen más adelante en la sección 3.1. Cabe señalar que en este caso las variables del análisis paramétrico están relacionadas con la envolvente de la vivienda y captación solar, estas son:

- Aislamiento
- Materialidad
- Porcentaje de acristalamiento

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio se realizaron las evaluaciones de temperatura operativa en cada espacio de la vivienda con el fin de identificar mejoras aplicables al modelo base que aumenten las horas de confort en el mismo. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del modelo base de la vivienda, los resultados de las mejoras pasivas implementadas, así como la comparación entre el modelo base y la propuesta final de la vivienda.

#### 3.1. Evaluación del modelo base

Los reportes horarios de temperatura permiten conocer el estado térmico de los espacios de manera general. Este análisis emplea el rango de confort con el 90% de aceptabilidad y en base a ello se calcula el porcentaje de horas en el año en el que los espacios presentan sobre enfriamiento, sobre calentamiento y confort. En la Figura 3.1. se muestran los porcentajes de sobre enfriamiento y confort de cada zona del modelo base, donde las tres primeras zonas de cada departamento pertenecen a la planta 1, las siguientes 4 pertenecen a la planta 2 y los dos últimos a la planta 3. El porcentaje de sobre calentamiento en las zonas del modelo base no se muestran en esta figura dado que no superan el 1%.

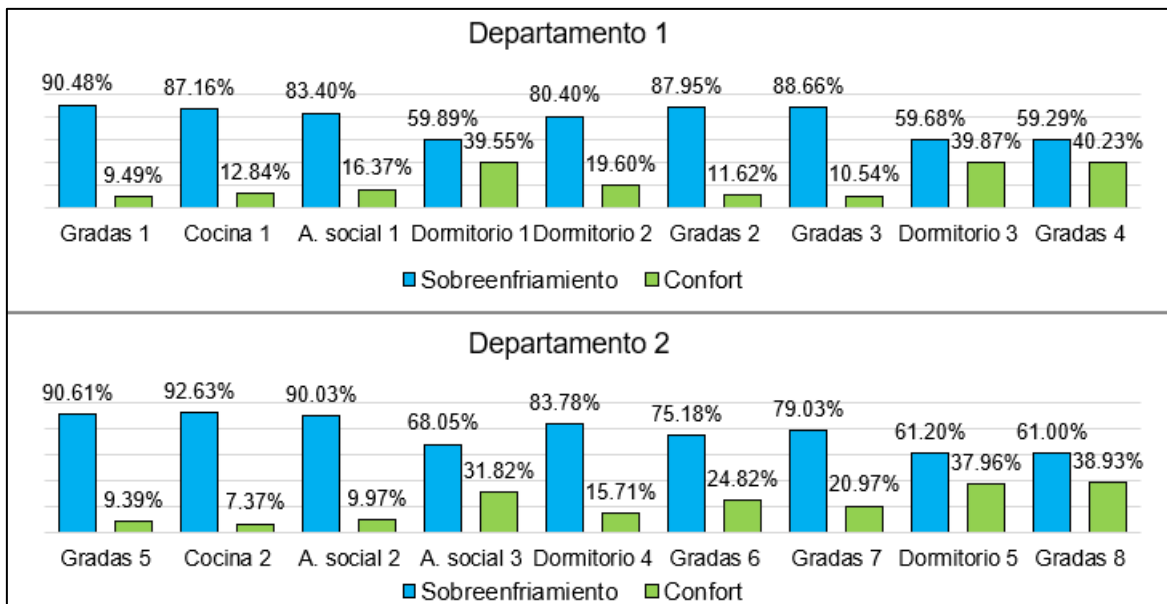


Figura 3.1 Estado térmico de los espacios por departamento del modelo base (Fuente: Propia)

En la Figura 3.1 se aprecia un comportamiento similar entre departamentos, por ejemplo, las zonas de la tercera planta son las que menor sobre enfriamiento presentan en ambos

departamentos, mientras que las todas zonas de la primera planta superan el 80% de sobre enfriamiento al año. Esto se debe a que su forma y distribución son similares, al igual que la mayoría de sus condiciones de borde. A continuación, se desarrolla un análisis semanal y diario de las zonas con el fin de identificar las razones de su comportamiento térmico.

### 3.2. Análisis semanal de las temperaturas del modelo base

Para este análisis los resultados se segregan por departamentos y plantas, para después graficar las temperaturas internas de cada espacio junto con la radiación global y temperatura externa de bulbo seco en distintas semanas. Las semanas de estudio son dos, una semana con temperatura ambiente promedio alta (semana caliente) y otra con temperatura ambiente promedio baja (semana fría) y corresponden a los días del 22 al 26 de abril y del 19 al 23 de julio respectivamente. En la Figura 3.2 se muestra el comportamiento de los espacios del departamento uno en las semanas mencionadas.

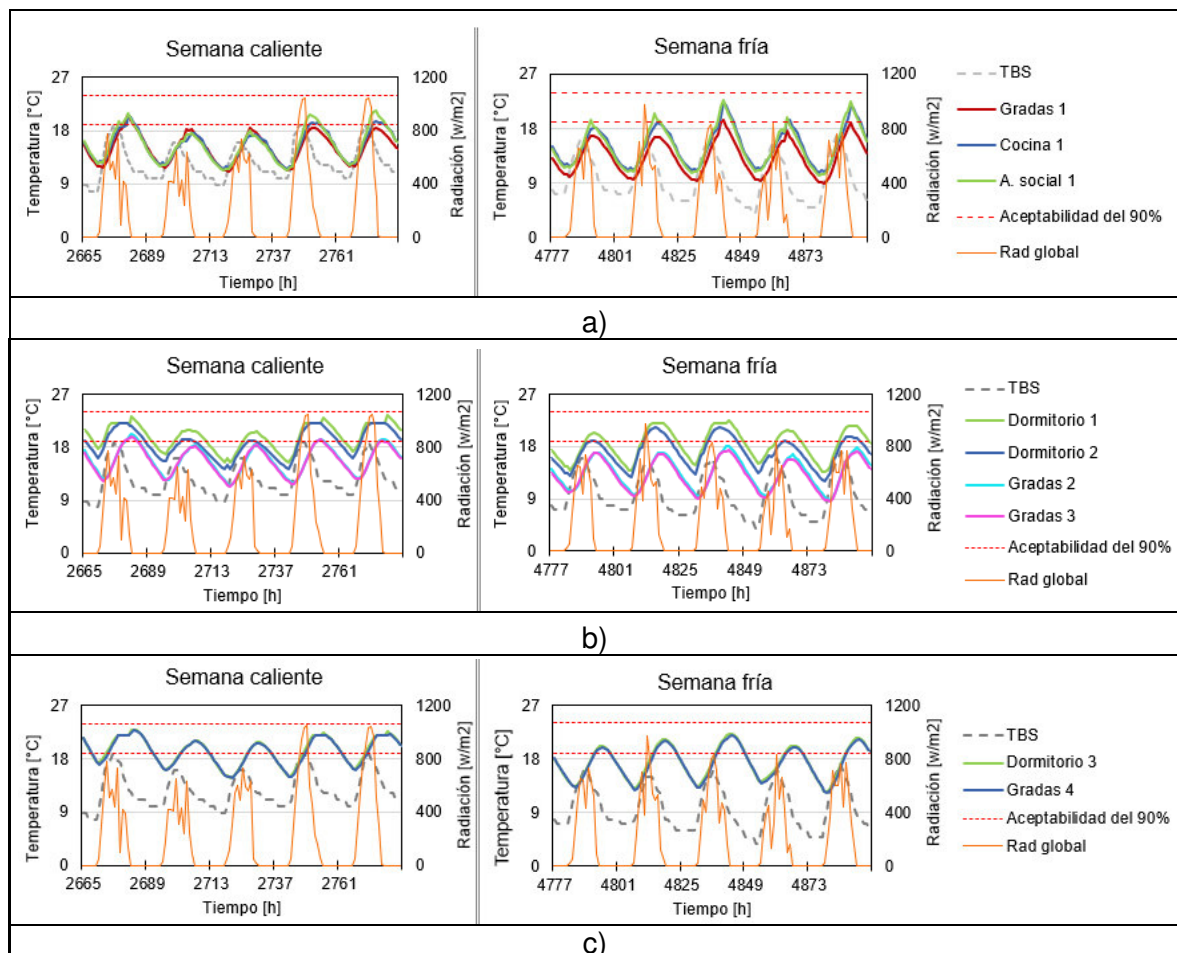


Figura 3.2 Comportamiento térmico de los espacios del departamento 1 en las semanas de estudio: a) Planta 1 b) Planta 2 c) Planta 3 (Fuente: Propia)

En esta figura se observa cómo la temperatura exterior, junto con la radiación, influyen directamente sobre la temperatura interior. La radiación solar es captada por superficies opacas y traslúcidas donde la mayor ganancia se va a producir a través de las superficies traslúcidas o ventanas. Por ello, las horas en que la temperatura interna de la vivienda se encuentra dentro del rango de confort es solamente durante horas de la tarde. Cuando la captación de radiación solar es inexistente y la temperatura externa disminuye, la temperatura de la vivienda estará por debajo del rango de confort. En Quito, las ganancias obtenidas por la radiación solar son deseables por lo que es recomendable que las ventanas tengan orientación este-oeste [13].

Además, en esta figura se observa que la temperatura interna de los espacios alcanzará valores más bajos en la semana fría debido a la influencia de la temperatura externa. Por otra parte, se observa que los espacios de Cocina 1 y Área social 1 tienen un comportamiento similar debido a que son espacios sin separación y, tanto las ganancias por radiación como las pérdidas por el suelo, se reparten tendiendo a igualar sus temperaturas operativas. Además, las temperaturas internas de estos espacios no alcanzan los 22°C a ningún momento del día y por lo tanto no hay apertura de las ventanas. En cambio, en las habitaciones de la planta 2 se observa un mejor comportamiento, las temperaturas de los dormitorios superan los 22°C en la semana caliente y los espacios permanecen más tiempo en el rango de confort durante la tarde, sin embargo, el comportamiento de los espacios de las gradas no es el mismo debido a que estos espacios tienen poco acristalamiento y no hay aprovechamiento de la radiación solar. Por otro lado, la planta 3 presenta el mejor comportamiento térmico dado que en días con mayor radiación solar las superficies traslúcidas orientadas al este contribuyen a que estas zonas permanezcan gran parte del día en el rango de confort. Sin embargo, estas también pueden provocar grandes pérdidas en momentos de poca radiación debido a su gran porcentaje de acristalamiento. De manera general, se observa que los materiales de la envolvente de toda la vivienda tienen un pobre desempeño térmico dado que cuando la radiación solar disminuye, la temperatura de todos los espacios empieza a disminuir inmediatamente, es decir el bloque de 15cm no contribuye a almacenar la energía proporcionada por la radiación solar durante el día. En lo que se refiere al comportamiento térmico de los espacios de departamento 2, se observó similitud con el comportamiento del departamento 1 debido a que ambos tienen casi las mismas condiciones de borde, forma y distribución. Por lo tanto, estos resultados se muestran en la parte de anexos.



### 3.3. Análisis de las ganancias de la envolvente en el modelo base

En este análisis se grafican las ganancias de calor a través de la envolvente en cada espacio de la vivienda. Para ello se eligieron dos días diferentes de las semanas de estudio, estos son el 26 de abril (día bueno) y 22 de julio (día malo) y sus parámetros climáticos se muestran en la Figura 3.3, donde GHI es la radiación global horizontal y TBS es la temperatura de bulbo seco exterior.

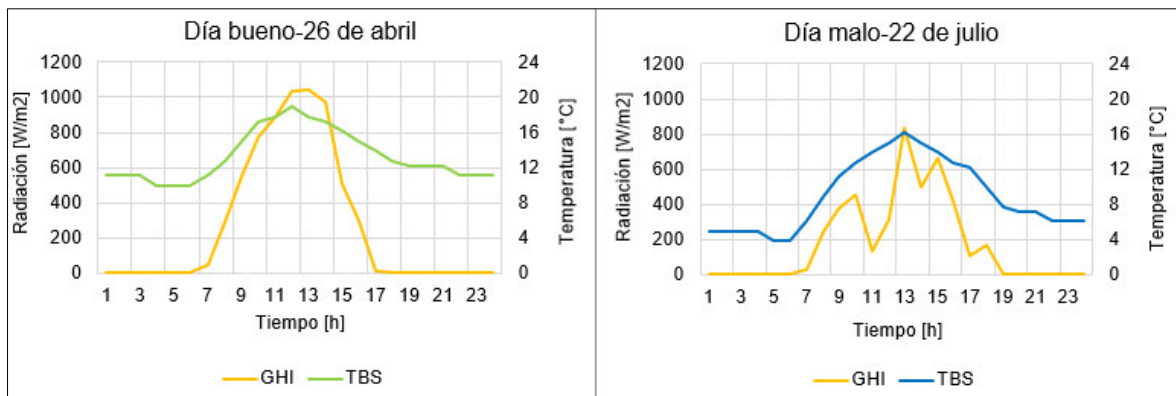


Figura 3.3 Parámetros climáticos de los días de estudio.  
(Fuente: Propia)

En esta sección sólo se mostrarán los resultados de 5 de 18 espacios que componen el modelo de la vivienda en eQuest, estos son espacios representativos de cada planta del departamento uno y proporcionarán información relevante que permitirá tomar mejores decisiones en el diseño. Los espacios seleccionados son: Área social 1, Dormitorio 1, Dormitorio 2, Dormitorio 3 y Gradas 4. Sin embargo, los espacios de Dormitorio 3 y Gradas 4 se consideran como uno solo debido a que no tienen pared divisoria entre sí y sus ganancias se reparten dando lugar a que su comportamiento térmico sea similar, como se observa en las figuras 3.1 y 3.2. La ubicación de estos espacios en el modelo 3D se muestra en la Figura 3.4. y sus características se resumen en la Tabla 3.1. Más adelante se muestra las ganancias térmicas de los espacios representativos para los dos días de estudio y la nomenclatura de estos espacios en la gráfica es de acuerdo con sus siglas, siendo AS1 para referirse al Área social 1, D1, D2 y D3 para referirse a los dormitorios 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que las letras N, S, E y O indican las paredes orientadas al norte, sur, este y oeste respectivamente.

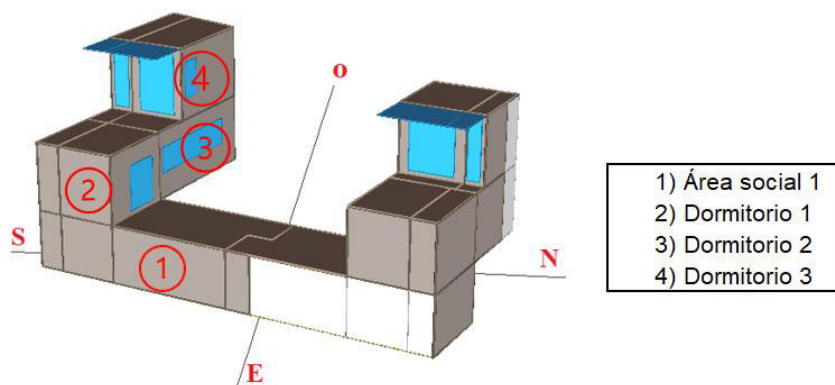


Figura 3.4 Ubicación de los espacios representativos en el modelo  
(Fuente: eQuest)

Tabla 3.1 Características de los espacios representativos

Espacio	Características			
1) Área social 1	Condiciones de borde	Paredes	Norte	Adiabática
			Sur	Sin superficie de separación
			Este	Expuesta
			Oeste	Expuesta
	Techo	Expuesto		
Suelo	Contacto con tierra			
Acrislamiento	Oeste	60%		
2) Dormitorio 1	Condiciones de borde	Paredes	Norte	Expuesta
			Sur	Adiabática
			Este	Expuesta
			Oeste	Adiabática
	Techo	Expuesto		
Suelo	Adiabático			
Acrislamiento	Norte	30%		
3) Dormitorio 2	Condiciones de borde	Paredes	Norte	Expuesta
			Sur	Adiabática
			Este	Adiabática
			Oeste	Parcialmente adiabática
	Techo	Parcialmente expuesto		
Suelo	Expuesto			
Acrislamiento	Norte	30%		
4) Dormitorio 3	Condiciones de borde	Paredes	Norte	Expuesta
			Sur	Expuesta
			Este	Expuesta
			Oeste	Expuesta
	Techo	Expuesto		
	Suelo	Adiabático		
	Acrislamiento	Norte	10%	
Sur		10%		
Este		60%		

(Fuente: Propia)

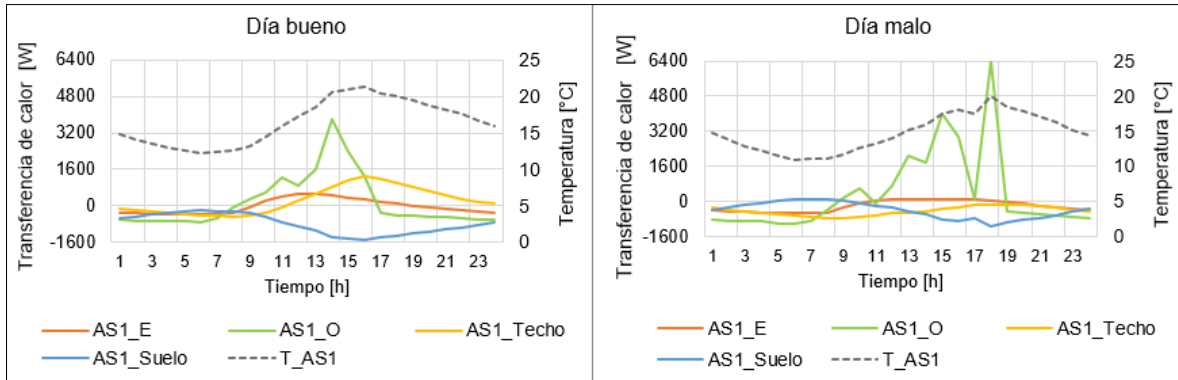


Figura 3.5 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Área social 1  
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.5 se observa que la pared oeste de la zona Área social 1 es el elemento de mayor ganancia en ambos días debido a la radiación captada por el acristalamiento, principalmente en la tarde. Además, se observa que las mayores pérdidas se producen por el suelo, esto se debe a que su condición de borde es contacto con tierra. La temperatura del suelo es proporcionada por el archivo de clima obtenido mediante Energy Plus con extensión epw. explicado en la sección 2.1.2. y esta varía entre 10,96°C y 11,96°C. Por otro lado, en el día bueno también se aprecia la contribución de la inercia térmica del techo en horas de la noche, sin embargo, no sucede lo mismo en el día malo, donde la radiación es menor y el techo tiende a perder casi tanto calor como el suelo.

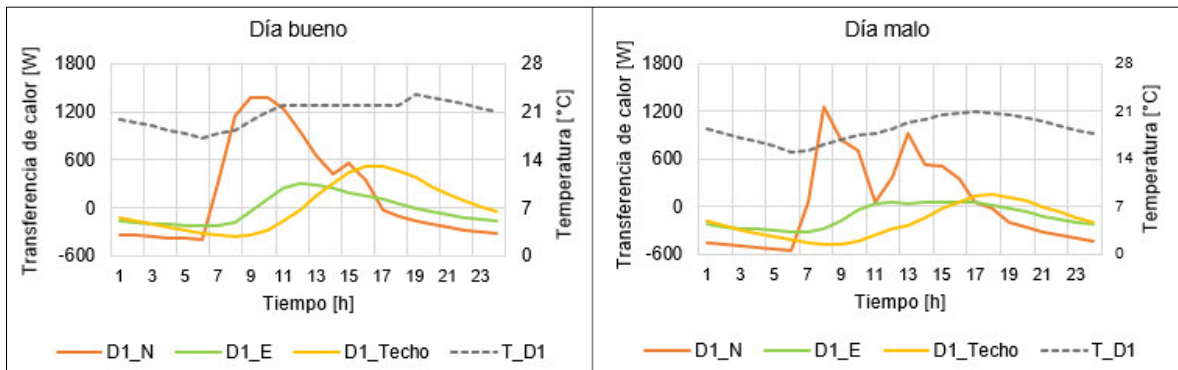


Figura 3.6 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Dormitorio 1  
(Fuente: Propia)

La zona Dormitorio 1 tiene 3 superficies que forman parte la envolvente, siendo la pared norte la que contribuye con la mayor ganancia en ambos días debido a la superficie acristalada. Por otro lado, la pared este no contribuye en gran medida al espacio a pesar de su orientación, dado que esta no tiene superficies traslúcidas y el material de la envolvente no tiene la capacidad de aprovechar la radiación solar. Por otra parte, el techo en el día bueno pierde y gana casi la misma cantidad de calor, además, la energía que el

material del techo acumula debido a la radiación solar favorece a esta zona durante las primeras horas de la noche. Sin embargo, en el día malo se puede observar que el techo es la superficie que más pérdidas de calor tiene debido a los bajos niveles de radiación.

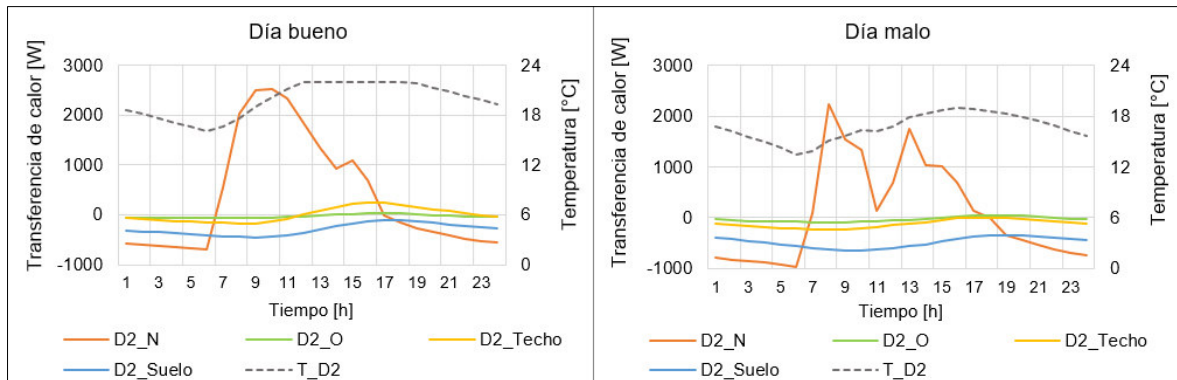


Figura 3.7 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Dormitorio 2  
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.7 se observa que en la zona Dormitorio 2 no hay mayor intervención por parte del techo debido a que la superficie expuesta es pequeña en comparación al área del suelo y lo mismo sucede con la pared oeste dado que gran parte de esta superficie es colindante y se modela como adiabática. Por otro lado, en esta zona la mayor ganancia se da a través de la pared acristalada y el elemento crítico es el suelo en ambos días, dado que este se encuentra expuesto y no recibe radiación solar. En ambos dormitorios el acristalamiento de la pared norte captará mayor radiación solar entre los meses de marzo y septiembre debido a la inclinación del eje de rotación de la tierra. Esto se puede apreciar en la Figura 3.8 donde se presenta la posición solar para el día 26 de abril.

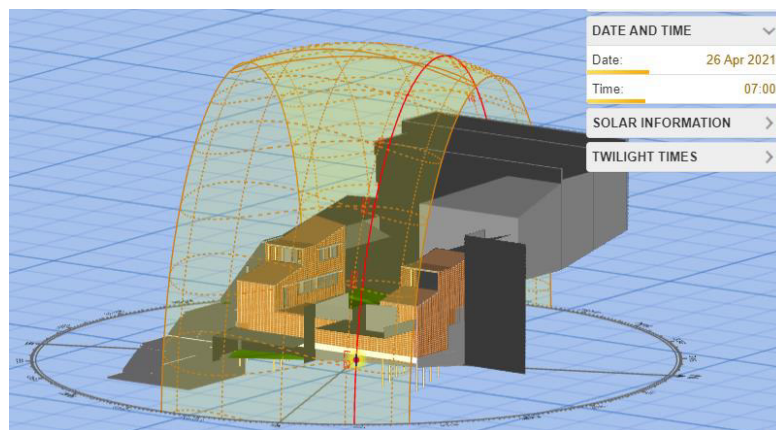


Figura 3.8 Posición del sol en el día 26 de abril a las 07h00.  
(Fuente: Propia)

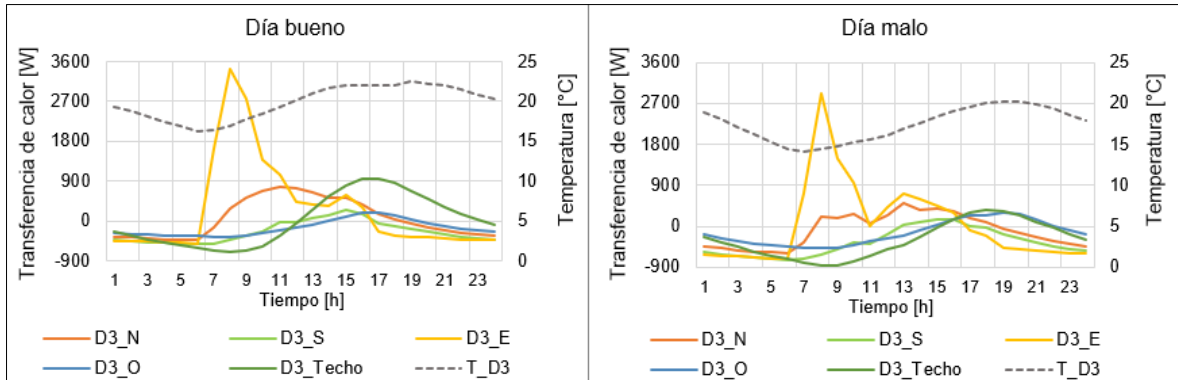


Figura 3.9 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Dormitorio 3  
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.9 se puede observar que el mayor aporte de ganancia de la zona Dormitorio 3 es a través de la pared este acristalada en horas de la mañana para ambos días. Por otro lado, el techo en el día bueno y malo aporta ganancias de calor en horas de la noche debido a su alta inercia térmica, comportamiento contrario al de las paredes dado que una vez que ya no hay radiación solar, estas empiezan a perder calor rápidamente.

Con base en la situación descrita, se puede decir que esta casa de ser construida con materiales de uso común en el Ecuador proporcionaría a sus habitantes un ambiente térmico no confortable durante la mayor parte del año, sobre todo en las zonas de la planta 1 donde el porcentaje de sobre enfriamiento anual supera el 80% del tiempo, para un rango de confort con 90% de aceptabilidad. En otras palabras, la temperatura interior de los espacios de esta planta va a estar por debajo de 19°C el 80% del año. A partir de estos valores y del análisis de las ganancias en los espacios representativos, se identifica y evalúa posibles estrategias pasivas que incrementen las horas de confort térmico en la vivienda.

### 3.1. Estudio paramétrico de la vivienda

El estudio paramétrico se divide en tres partes y cada una corresponde a cada planta de la vivienda. En esta sección se modelan las estrategias pasivas aplicadas al modelo base, entre las cuales está el uso de aislamiento con distintos espesores, para ello se emplea poliestireno expandido (EPS) con espesores desde 1cm hasta 5cm. Por otro lado, en lo que se refiere a la materialidad de la vivienda se emplea ladrillo común y ladrillo macizo con espesores de 15cm y 20cm en lugar de bloque. Y en cuanto al acristalamiento se evalúan distintos porcentajes del mismo, dependiendo de la zona térmica. Las propiedades del poliestireno expandido, así como del ladrillo común y del ladrillo macizo a evaluar se

muestran en la Tabla 3.2. Además, se debe resaltar que los resultados mostrados en esta parte pertenecen a los espacios representativos mencionados anteriormente.

Tabla 3.2 Propiedades de los materiales utilizados para el estudio paramétrico

Componentes	Espesor [m]	Conductividad [W/mK]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/kgK]
Poliestireno expandido (EPS)	0.01-0.05	0.035	28.83	1214.13
Ladrillo común	0.15 - 0.2	0.8	1800	840
Ladrillo macizo	0.15 - 0.2	0.87	1800	1130

(Fuente: [7])

De acuerdo con el análisis de las ganancias del modelo base se establece como punto de partida del uso de aislamiento en el piso de las zonas de la planta 1 y en el suelo expuesto de las zonas de la planta 2, dado que estas superficies son las que ocasionan las mayores pérdidas de calor en estas plantas. Por otro lado, en las zonas de la planta 3 se debe cambiar la materialidad de las paredes dado que las 4 paredes están expuestas y las pérdidas de calor de estas superficies superan a las pérdidas del techo.

### 3.1.1. Estudio paramétrico del espacio representativo 1

En la zona del Área social 1 en primer lugar se evalúa la aplicación de poliestireno expandido en el suelo, este material se evalúa centímetro a centímetro para espesores que van desde 1cm hasta 5cm. La siguiente gráfica muestra la distribución de la temperatura interna de esta zona en el modelo base y en las distintas configuraciones del suelo, esta gráfica se obtiene con los resultados de la simulación realizada hora a hora durante un año calendario (8760 horas).

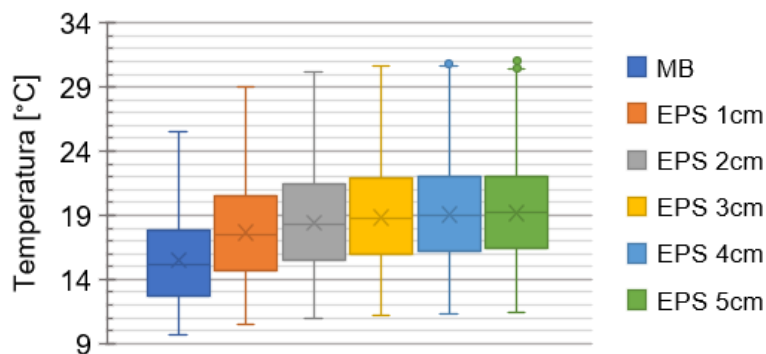


Figura 3.10 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Área social 1 en el modelo base y en las configuraciones de piso.

(Fuente: Propia)

En esta figura se puede apreciar que desde la aplicación de 1 centímetro de poliestireno para aislar el suelo se obtienen mejores condiciones térmicas internas dado que el EPS inhibe las pérdidas de calor incluso con el mínimo espesor y al usarlo en cimentaciones mejora las condiciones térmicas en la vivienda [45]. Desde la primera configuración las cajas del diagrama entran en el rango de confort (entre 19°C y 24°C). Sin embargo, también se aprecia que la temperatura máxima alcanzará un valor más elevado en dichas configuraciones y en consecuencia puede aumentar el desconfort por sobrecalentamiento, el cual es 0,23% en el modelo base. En este punto es importante señalar que a partir del uso del poliestireno con espesor de 3 cm ya no se observan cambios significativos en la distribución de temperatura, razón por la cual se puede descartar el uso de espesores mayores a este valor. Por otro lado, el incremento de las horas de confort para cada configuración se muestra en la Figura 3.11.

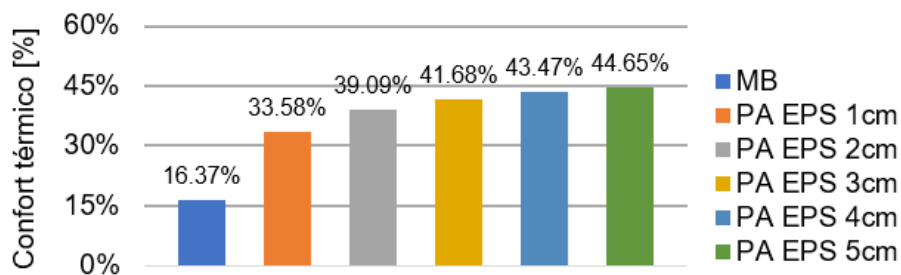


Figura 3.11 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad para distintas configuraciones de piso.  
(Fuente: Propia)

En esta gráfica se confirma lo que se mencionó anteriormente, el cambio de mayor impacto es a partir del uso de 1 cm de poliestireno dado que el confort térmico aumenta 17.21%. Con base a estos resultados se puede decir que, el espesor de EPS y su beneficio en el confort térmico no tienen una relación lineal, por ello se decide usar 3 cm de EPS como aislamiento del suelo para que a partir de esta configuración realizar las siguientes.

A continuación, se evalúa las configuraciones del techo de la planta 1, dichas configuraciones emplean aislamiento de EPS por el exterior y de igual manera se evalúa centímetro a centímetro el espesor de EPS desde 1 cm hasta 5 cm y estos resultados se comparan con la configuración de piso aislado con 3 cm de EPS y techo expuesto del caso anterior. La Figura 3.12 muestra los resultados de la distribución de la temperatura para las configuraciones mencionadas, donde la primera distribución es la configuración de piso aislado de la planta 1 con 3cm de EPS y techo expuesto, P1 PA TE, y las que contienen

las siglas P1 TA corresponden a las configuraciones de techo aislado realizadas en base a P1 PA TE.

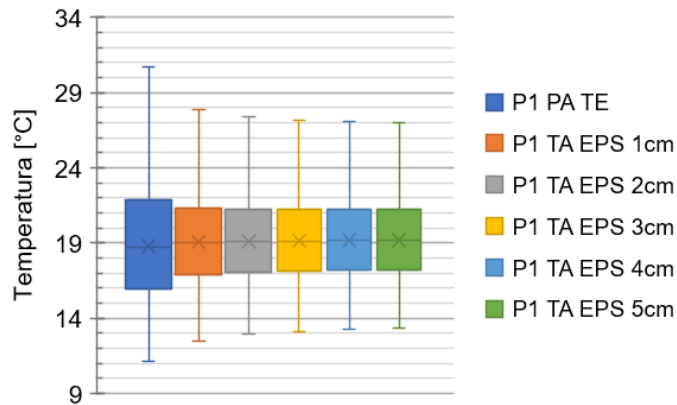


Figura 3.12 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Área social 1 en configuraciones con piso aislado y distintas configuraciones del techo.  
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.12 se puede apreciar que la implementación del aislamiento en el techo de la planta 1 contribuye a que las temperaturas operativas sean más estables, lo cual coincide con los resultados del estudio de Jácome [13] donde las viviendas con techos expuestos presentan mayores variaciones que las viviendas de techo adiabático y en consecuencia presentarán mayor sobrecalentamiento en la semana caliente y mayor sobre enfriamiento en la semana fría. Desde la aplicación del aislamiento mínimo de EPS el valor máximo de temperatura se reduce 2.85°C, mientras que el mínimo valor de temperatura aumenta 1.35°C, es decir, la oscilación de temperatura se reduce en 4.2°C. Sin embargo, en todos los casos la mediana se mantiene casi invariable.

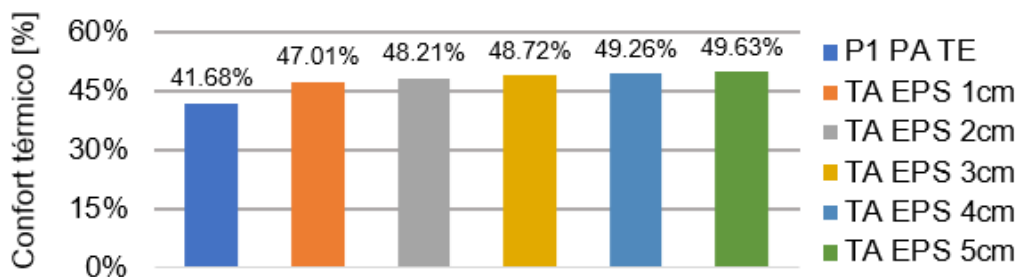


Figura 3.13 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en distintas configuraciones de techo.  
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.13 se muestra el porcentaje de confort alcanzado en el Área social 1 con distintas configuraciones de techo, la cual muestra que el uso de 1cm de aislamiento en



esta superficie contribuye a elevar el confort del espacio 5,33%, mientras que la diferencia entre usar EPS de 1cm y EPS de 5cm es de 2.62%. Por lo que se decide utilizar el EPS de 2cm para aislamiento del techo dado que entre el uso de este espesor y los de mayor valor no hay diferencias significativas y tomando en cuenta que el espesor de aislante y su precio están relacionados de manera lineal. Es decir, se debe evitar usar aislamiento excesivo dado que ello no me garantiza condiciones más confortables, pero si elevará el costo de inversión de la vivienda [45]. Ahora bien, el siguiente análisis se realizará en con el fin de evaluar distintos materiales en las paredes de la vivienda, para ello se emplea ladrillo común y ladrillo macizo con espesores de 15cm y 20cm (LC15, LC20, LM15 y LM20) a partir de la configuración de techo seleccionada anteriormente (piso y techo aislados con 3cm y 2cm de EPS respectivamente y paredes de bloque de 15cm) la cual se representa en la Figura 3.14 con las siglas PA TA B15.

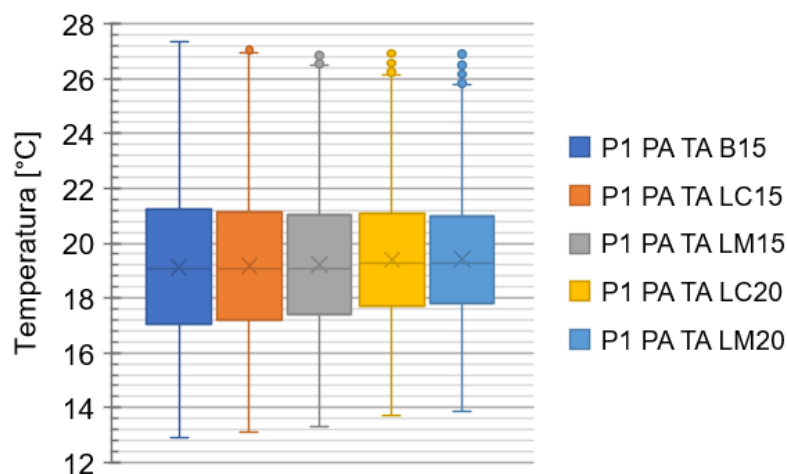


Figura 3.14 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Área social 1 en configuraciones con piso aislado y diferente material de pared.  
(Fuente: Propia)

En esta figura se puede observar que el ladrillo común y macizo contribuirán a disminuir la oscilación de temperatura en el interior de la vivienda debido a que tienen mejores propiedades térmicas que el bloque y consecuentemente mayor inercia térmica, lo que contribuye a que el espacio tenga temperaturas más estables a lo largo del día. Esto se puede apreciar de mejor manera en las figuras 3.15 y 3.16 donde se muestran las temperaturas del espacio representativo 1 en las dos semanas de estudio y las ganancias de su pared con orientación este en el día bueno y malo con las configuraciones de bloque de 15 cm (B15), ladrillo común de 15 cm y 20 cm (LC15 y LC20) y ladrillo macizo de 15 cm y 20 cm (LM15 y LM20), junto con la temperatura exterior de bulbo seco.

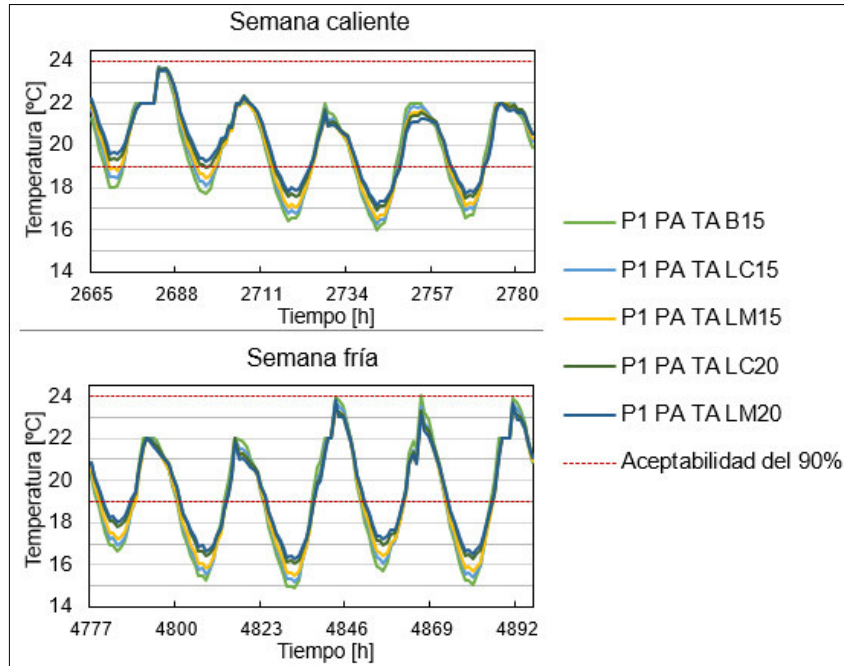


Figura 3.15 Temperatura operativas de la zona Área social 1 durante las semanas de estudio en configuraciones con diferentes tipos de material de pared.  
(Fuente: Propia)

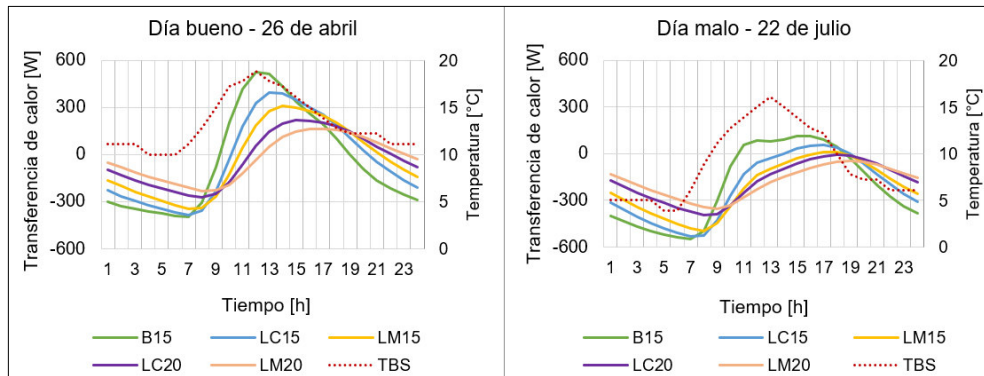


Figura 3.16 Transferencia de calor en la pared este de la zona Área social 1 en los días de estudio con diferentes tipos de material de pared.  
(Fuente: Propia)

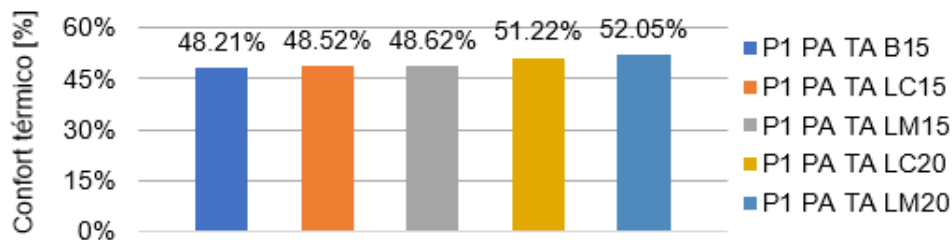


Figura 3.17 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en distintas configuraciones de pared.  
(Fuente: Propia)

El aislante no permite las ganancias o pérdidas de calor, en cambio, los materiales con alta inercia se demoran más tiempo en ganar y disipar el calor. Este amortiguamiento y retardo se puede apreciar en la Figura 3.16, donde además se observa que, a mayor masa del material, mayor es la inercia térmica del mismo. Por otro lado, en la Figura 3.17 se observa que el hecho de cambiar el bloque de 15 cm por ladrillo común de 15 cm eleva el confort térmico en 0.31%, mientras que el ladrillo macizo de 15 cm eleva el confort en 0.41%. Por otro lado, cuando estos materiales tienen espesores de 20 cm el confort térmico se eleva 3.01% y 3.84% respectivamente.

Asimismo, se evaluaron porcentajes de acristalamiento de 50% y 40% para todos los espacios de la planta 1, los cuales tienen 60% de acristalamiento en el modelo base. La disminución de este porcentaje disminuye las horas de confort en todos los casos anteriores, debido a que las superficies traslúcidas son las que aportan la mayor parte de ganancias a los espacios debido a la captación de radiación solar. A continuación, se muestran los porcentajes de confort para el espacio representativo 1 con distintos porcentajes de acristalamiento.

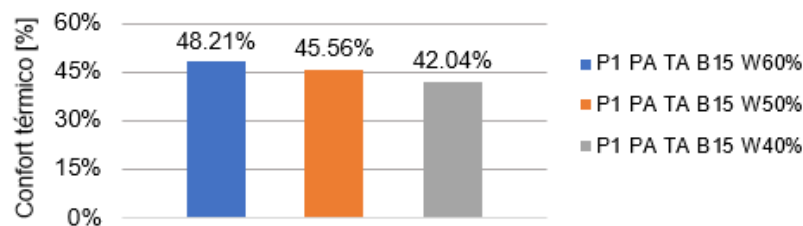


Figura 3.18 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA B15 con distintos porcentajes de acristalamiento. (Fuente: Propia)

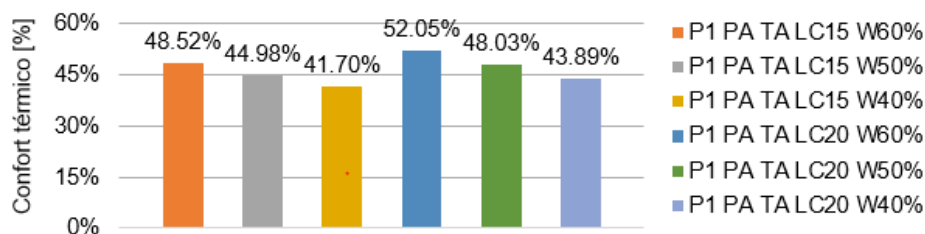


Figura 3.19 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA LC con distintos porcentajes de acristalamiento. (Fuente: Propia)

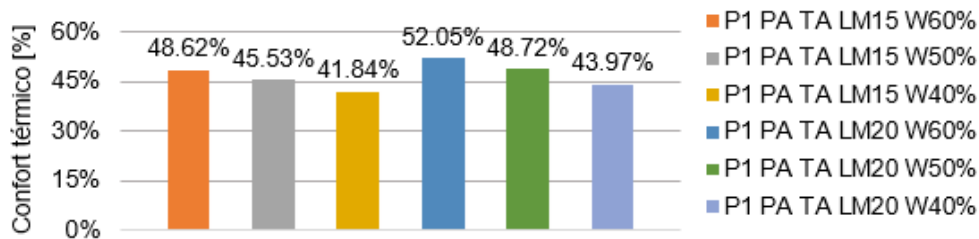


Figura 3.20 Porcentaje de confort térmico de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA LM con distintos porcentajes de acristalamiento.  
(Fuente: Propia)

En Quito hay radiación directa alta la mayor parte del año y un alto porcentaje de acristalamiento es beneficioso, en especial en orientaciones este-oeste [13]. Por lo cual, las configuraciones con porcentajes de acristalamiento menores a 60% se descartan como opción para elevar las horas de confort térmico en la planta 1 de esta vivienda. Por otro lado, también se evaluó el uso de aislamiento de 3cm de EPS para las distintas configuraciones de pared descritas anteriormente, esto elevó el porcentaje de confort más del 10% en todos los casos y sus porcentajes se indican en la Tabla 3.3 y en la Figura 3.21.

Tabla 3.3 Porcentaje de confort térmico anual de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad para distintas configuraciones de pared

Configuración de pared	Sin aislamiento	Con aislamiento	Diferencia
P1 PA TA B15	48.21%	62.33%	14.12%
P1 PA TA LC15	48.52%	63.80%	15.28%
P1 PA TA LM15	48.62%	64.77%	16.15%
P1 PA TA LC20	51.22%	65.05%	13.83%
P1 PA TA LM20	52.05%	65.86%	13.81%

(Fuente: Propia)

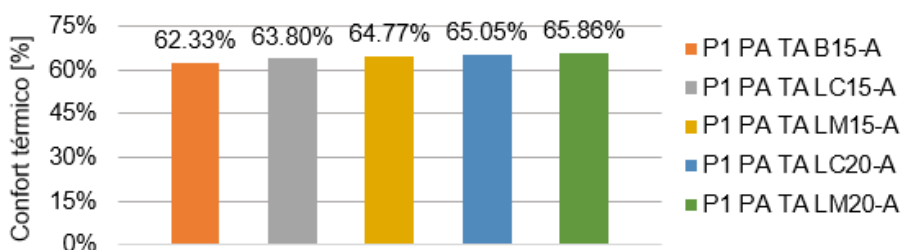


Figura 3.21 Porcentaje de confort térmico anual de la zona Área social 1 con el 90% de aceptabilidad en distintas configuraciones de pared aislada.  
(Fuente: Propia)

En base a los resultados mostrados, el cambio más importante en esta planta fue el aislamiento del suelo dado que esta superficie por su condición de borde es un sumidero de calor. Por ello, las demás configuraciones deben partir de esta ya que cualquier otro cambio que se realice sin aislar el suelo no favorecerá al ambiente térmico de la planta, debido a las pérdidas contantes de calor a través de esta superficie. Por otro lado, los resultados también demuestran que la mejor forma de mantener las temperaturas dentro del rango de confort durante el mayor tiempo posible es a través del aislamiento total de la envolvente. A pesar de que el uso de aislamiento en toda la envolvente de la planta 1 representan un mayor beneficio, también representan una gran inversión inicial en la vivienda y la calidad de vida que proporciona no diferiría de las configuraciones con paredes de ladrillo común y ladrillo macizo de 20cm sin aislar. Dado que las temperaturas más bajas tendrán lugar en horas de descanso, cuando el porcentaje de ocupación de los espacios de la planta 1 es 0% debido a que son espacios de convivencia y cocina. Por lo tanto, la acción de aislar las paredes sería algo opcional, mientras que el aislamiento del suelo es obligatorio.

### 3.1.2. Estudio paramétrico del espacio representativo 2

El espacio representativo 2 corresponde a la zona de Dormitorio 1 y se ubica en la segunda planta de la vivienda, las características de la envolvente de esta zona se describen en la Tabla 3.1. En el análisis de esta planta se evaluó el uso de aislamiento en el techo expuesto, la materialidad de las paredes y el aumento del acristalamiento en todas las ventanas, incluyendo la ventana de las gradas. Con respecto al aislamiento del techo se evaluó la aplicación de EPS por el exterior centímetro a centímetro desde 1 cm hasta 5 cm y los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.22 y en la Tabla 3.4 donde TA significa techo aislado.

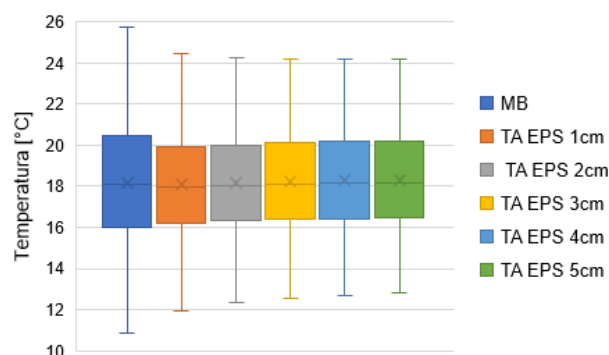


Figura 3.22 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Dormitorio 1 en configuraciones con techo aislado.  
(Fuente: Propia)

Tabla 3.4 Análisis estadístico de la zona Dormitorio 1 en configuraciones con techo aislado

	<b>MB</b>	<b>TA EPS 1cm</b>	<b>TA EPS 2cm</b>	<b>TA EPS 3cm</b>	<b>TA EPS 4cm</b>	<b>TA EPS 5cm</b>
Min	10.86	11.92	12.31	12.55	12.69	12.79
Q1	16.03	16.23	16.31	16.38	16.42	16.47
Mediana	18.11	17.97	18.01	18.08	18.14	18.17
Q3	20.48	19.95	20.01	20.10	20.17	20.21
Max	25.77	24.47	24.24	24.19	24.17	24.16
Promedio	18.17	18.10	18.16	18.23	18.28	18.32

(Fuente: Propia)

Como se mencionó anteriormente el aislamiento en el techo proporciona temperaturas más estables en el espacio al impedir las ganancias y pérdidas de calor. El aislamiento de 5 cm en el techo reduce 3.54°C la oscilación de la temperatura la zona Dormitorio 1, sin embargo, en todos los casos más del 50% de las temperaturas se encuentran debajo del rango de confort. Por esta razón, se modifican otros parámetros de esta zona como materialidad y porcentaje de acristalamiento. Las siguientes modificaciones se realizarán en base a la configuración de techo aislado con 3 cm de EPS y techo expuesto con el fin de comparar cuál es más favorable junto con la combinación de otros parámetros.

A continuación, para el análisis de la materialidad de este espacio se evalúa solamente la configuración con paredes de ladrillo macizo de 20 cm. Esto se debe a que esta especificación es una de las recomendaciones realizadas por Jácome en su estudio y porque en el análisis del espacio representativo 1 este material es el que proporcionó temperaturas más estables y mayor porcentaje de confort anual. En la Figura 3.23 se muestran los porcentajes de confort cuando la materialidad de las paredes es de bloque de 15 cm con techo aislado (TA B15), ladrillo macizo de 20cm con techo aislado (TA LM20) y ladrillo macizo de 20 cm con techo expuesto (TE LM20). Por otro lado, en la Figura 3.24 se muestran las temperaturas operativas de la zona Dormitorio 1 durante las semanas de estudio para las configuraciones mencionadas anteriormente.

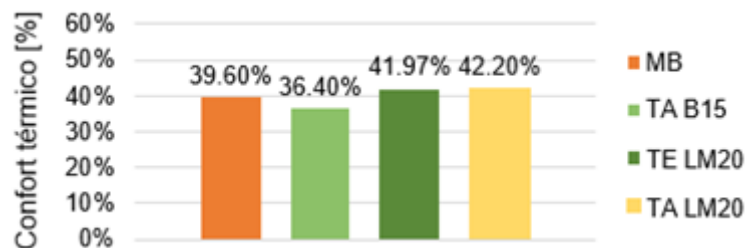


Figura 3.23 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones de ladrillo macizo de 20cm.

(Fuente: Propia)

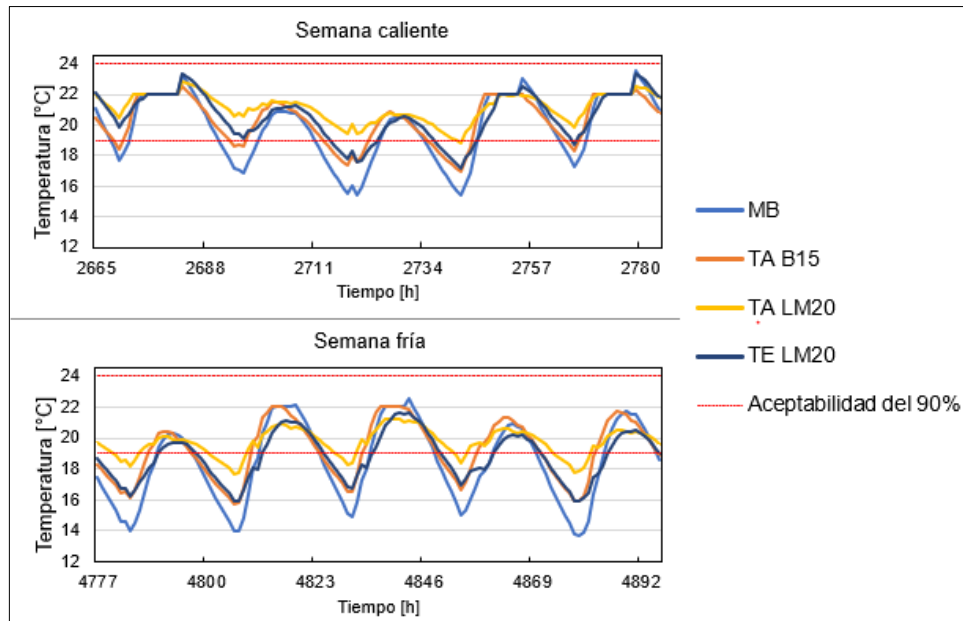


Figura 3.24 Temperaturas operativas de la zona Dormitorio 1 durante las semanas de estudio en configuraciones con diferentes tipos de material de pared.  
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.24 se observa que las configuraciones de TA B15 y TE LM20 tienen un comportamiento similar en horas de la noche, sin embargo, durante el día el bloque eleva la temperatura de la zona más rápido que el ladrillo macizo debido a su baja inercia térmica. Ambas configuraciones reducen la oscilación térmica, pero las temperaturas no se mantienen dentro del rango de confort. En cambio, la configuración TA LM20 presenta un buen comportamiento en ambas semanas, pero el porcentaje de confort térmico solo se eleva 2,6% como se muestra en la Figura 3.23. Las gráficas de la Figura 3.24 pertenecen al periodo de marzo a septiembre, cuando las superficies traslúcidas con orientación norte captan mayor radiación solar. A continuación, en la Figura 3.25 se evalúan las mismas configuraciones en una semana fuera de este periodo, cuando la captación de radiación será menor a través de las superficies traslúcidas.

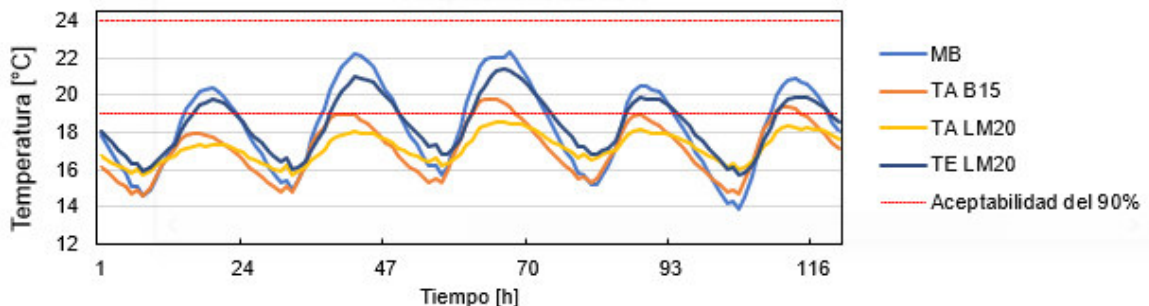


Figura 3.25 Temperaturas operativas de la zona Dormitorio 1 durante la primera semana de enero en configuraciones con diferentes tipos de material de pared.  
(Fuente: Propia)

En esta figura se observa que la configuración de techo expuesto TE LM20 tiene mayor número de horas de confort que las configuraciones de techo aislado TA B15 y TA LM20. Esto se debe a que, en este periodo la mayor ganancia de calor para este espacio es a través del techo y el aislamiento de estas configuraciones inhibe estas ganancias. Por ello, la temperatura de la configuración TA B15 se encuentra en el rango de confort durante pocas horas y, por otro lado, la configuración TA LM20 se encuentra totalmente debajo de este rango. Sin embargo, TA B15 tiene mayor oscilación térmica dado que alcanza valores más bajos de temperatura durante las horas de descanso debido a la baja inercia térmica del bloque. Por estas razones, la configuración TA B15 tiene menor porcentaje de confort térmico que el modelo base y en el caso de TA LM20 se obtiene un incremento de sólo 2.6%. En la Figura 3.26, se muestra la transferencia de calor en la zona Dormitorio 1 del modelo base y de la configuración de TA LM20 el día 1 de enero, donde se observa que en el modelo base las ganancias a través del techo serán superiores a las de la pared acristalada D1\_N y se puede comparar el comportamiento entre el techo expuesto y el techo aislado con 3 cm de EPS, además del uso de ladrillo macizo de 20 cm en lugar de bloque de 15 cm.

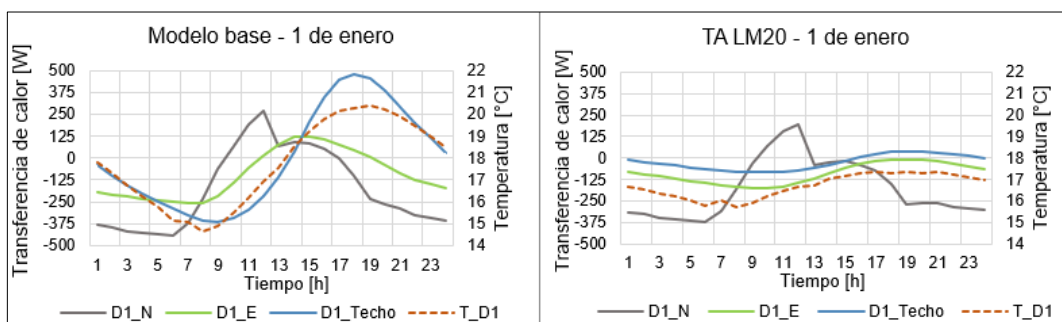


Figura 3.26 Transferencia de calor en la envolvente de la zona Dormitorio 1 para la configuración TA LM20 el 1 de enero.  
(Fuente: Propia)

Por otro lado, en lo que se refiere a las modificaciones del acristalamiento de esta zona se obtuvo mayor número porcentaje de confort cuando este aumenta. Sin embargo, por la orientación de las paredes acristaladas no es beneficioso el hecho de tener ventanas muy grandes, por ello el acristalamiento se incrementa solo 10% en TA B15, TA LM20 y TE LM20. Además, en estas configuraciones se evalúa la opción de aislar las paredes por el exterior con 3 cm de poliestireno expandido. Los resultados de estas modificaciones se muestran en las figuras 3.27, 3.28 y 3.29, donde la nomenclatura “W+10%” indica el aumento del 10% de acristalamiento, mientras que la letra A separada con un guion se refiere a paredes aisladas.



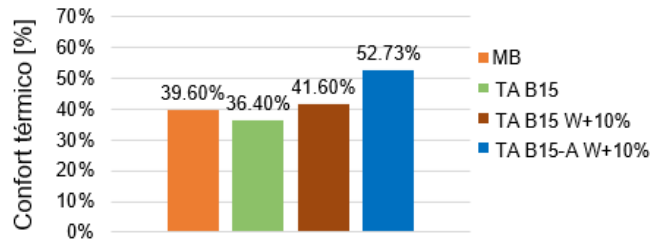


Figura 3.27 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 1 con 90% de aceptabilidad en configuraciones TA B15 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas.  
(Fuente: Propia)

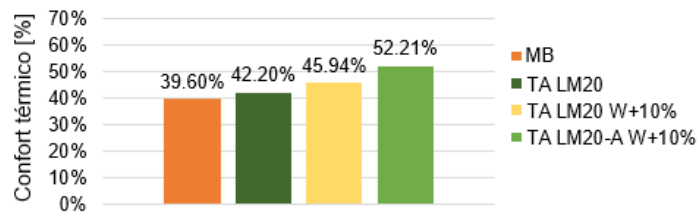


Figura 3.28 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones TA LM20 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas.  
(Fuente: Propia)

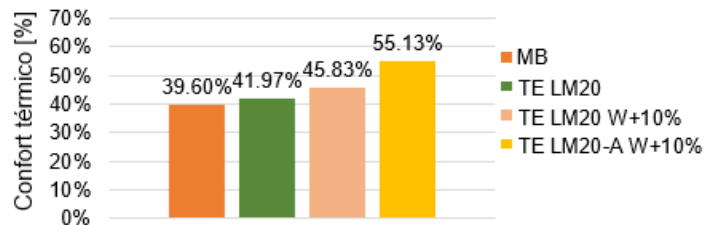


Figura 3.29 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 1 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones TE LM20 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas.  
(Fuente: Propia)

En estas figuras se observa que las configuraciones de ladrillo macizo con aumento del 10% de acristalamiento alcanzan un confort térmico superior al 45% y que la diferencia entre la configuración del techo aislado y expuesto es muy pequeña. Además, se observa que las configuraciones con paredes aisladas por el exterior con 3 cm de poliestireno expandido alcanzan porcentajes de confort térmico superiores al 52% en todos los casos, siendo la configuración de techo expuesto TE LM20-A W+10% la de mayor porcentaje. A continuación, se muestran las gráficas de temperaturas de la zona Dormitorio 1 para las configuraciones de pared aislada en las semanas de estudio y la primera semana de enero con el fin de conocer mejor su comportamiento.

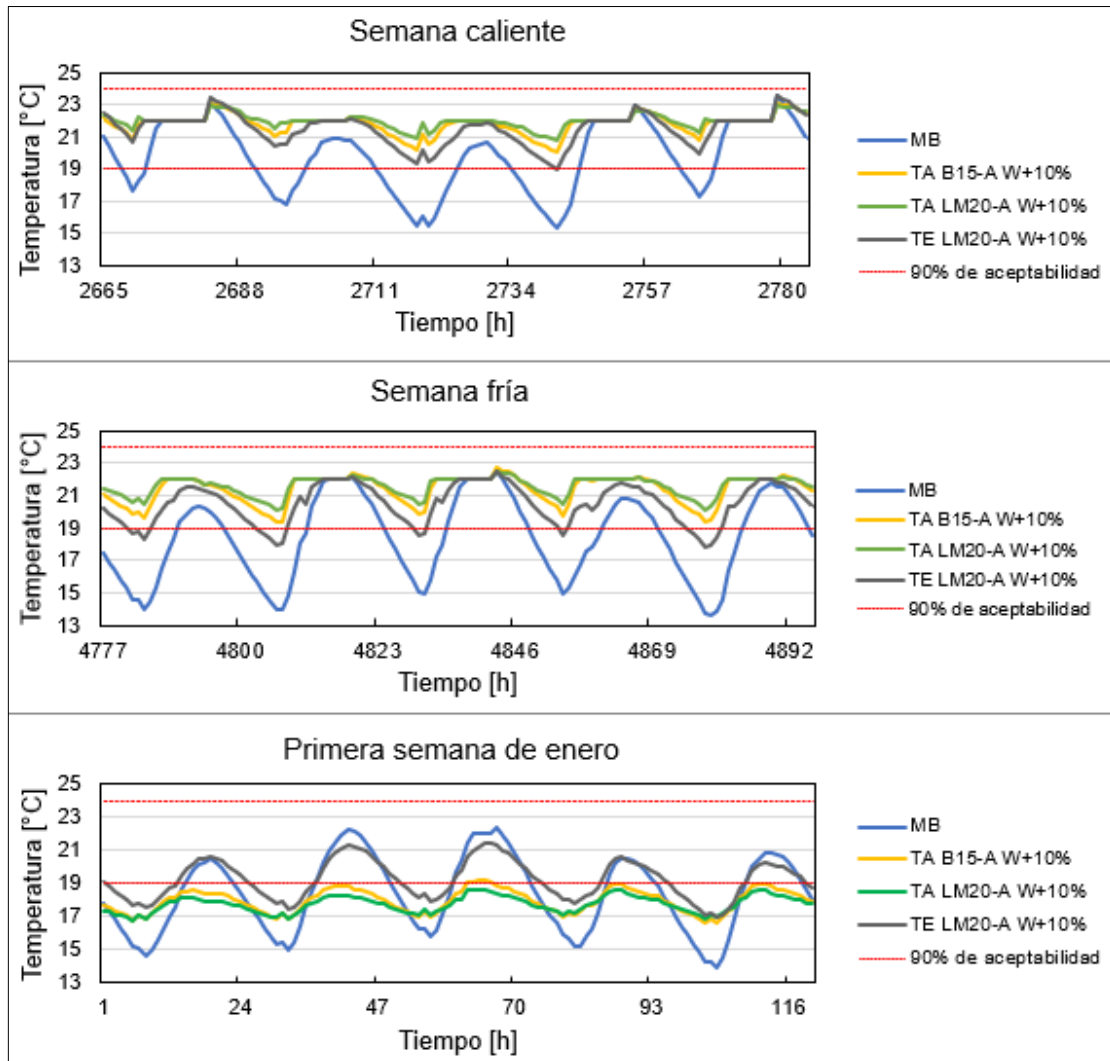


Figura 3.30 Temperaturas operativas de la zona Dormitorio 1 durante las semanas de estudio en configuraciones de pared aislada.  
(Fuente: Propia)

En esta figura se observa que durante la semana caliente y la semana fría las configuraciones de techo y paredes aislados tienen un comportamiento satisfactorio dado que las temperaturas operativas de esta zona se mantienen en el rango de confort todo el tiempo. Sin embargo, en la primera semana de enero las temperaturas de estas configuraciones no entran en este rango de confort debido a la poca radiación captada por las superficies traslúcidas y a la nula ganancia de calor a través del techo. En cambio, la temperatura de la zona Dormitorio 1 de la configuración TE LM20-A W+10% alcanza temperaturas de confort en las 3 semanas diferentes, por lo cual tiene cierta ventaja sobre las configuraciones de techo aislado entre los meses de octubre a marzo. A continuación, se tabulan las horas de confort térmico de la zona Dormitorio 1 según los meses del año de estudio para 4 configuraciones de ladrillo macizo, 2 con techo expuesto y 2 con techo aislado.

Tabla 3.5 Número de horas de confort térmico de la zona Dormitorio 1 en configuraciones de ladrillo macizo con techo expuesto y aislado

Mes	TE LM20	TE LM 20 W+10%	TA LM20	TA LM 20 W+10%
Enero	172	183	2	15
Febrero	94	111	0	0
Marzo	85	116	9	30
Abril	429	465	506	553
Mayo	534	586	691	719
Junio	537	573	634	668
Julio	572	609	702	724
Agosto	548	599	700	725
Septiembre	364	409	386	486
Octubre	172	187	64	101
Noviembre	82	95	0	0
Diciembre	140	156	5	27

(Fuente: Propia)

En la Tabla 3.6 se puede apreciar de mejor manera lo descrito anteriormente con respecto al cambio de la posición del sol. En esta tabla se observa que durante los meses de enero a marzo las configuraciones de techo adiabático tienen pocas horas de confort térmico en comparación a las configuraciones de techo expuesto y lo mismo ocurrirá durante los meses de octubre a diciembre.

### 3.1.3. Estudio paramétrico del espacio representativo 3

El espacio representativo 3 corresponde a la zona Dormitorio 2 y se ubica junto a la zona Dormitorio 1. Por ello, ambas zonas tienen las mismas modificaciones, con la diferencia que la zona Dormitorio 2 tiene una modificación extra que corresponde al aislamiento de su superficie crítica, el suelo expuesto. Para lo cual se aplica poliestireno expandido por el exterior y se evalúa centímetro a centímetro. Los porcentajes de confort para diferentes espesores de EPS se muestra en la Figura 3.31, donde P2 significa planta dos y PA significa piso aislado.

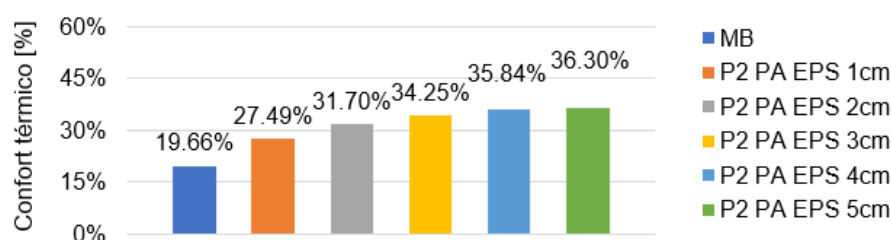


Figura 3.31 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones con diferentes espesores de aislamiento en el suelo.

(Fuente: Propia)

En esta figura se observa que desde la aplicación de 1cm de EPS el porcentaje de confort aumenta 7.83% dado se inhiben las pérdidas permanentes de calor a través del suelo. Como se mencionó anteriormente el espesor de aislamiento y el número de horas de confort no tiene una relación lineal, por ello no hay mucha diferencia entre aplicar EPS de 3cm y EPS de 5cm por lo que para las siguientes modificaciones se tomó como base la configuración de piso aislado con 3cm de EPS.

Seguidamente, se aplican las mismas modificaciones de la zona Dormitorio 1, estas son: aislamiento del techo expuesto con 3 cm de EPS, cambio de materialidad en las paredes por ladrillo macizo de 20 cm, aumento del 10% en el porcentaje de acristalamiento y aislamiento exterior de paredes con 3cm de EPS. Los resultados de estas modificaciones se muestran a continuación.

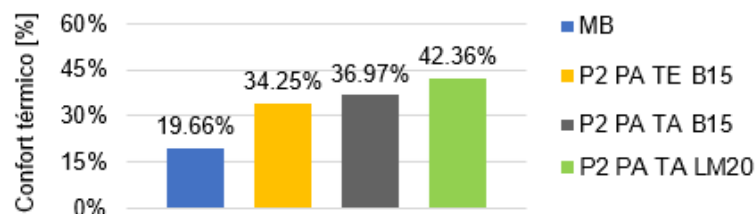


Figura 3.32 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones de techo aislado y paredes de ladrillo macizo. (Fuente: Propia)

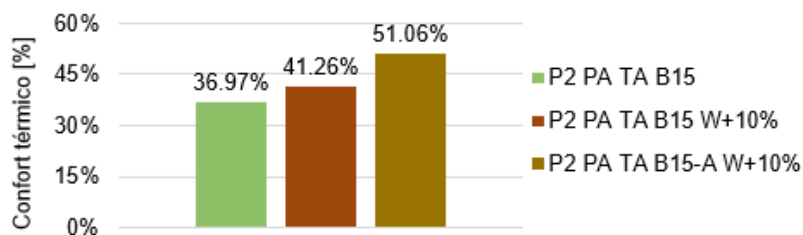


Figura 3.33 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA B15 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas. (Fuente: Propia)

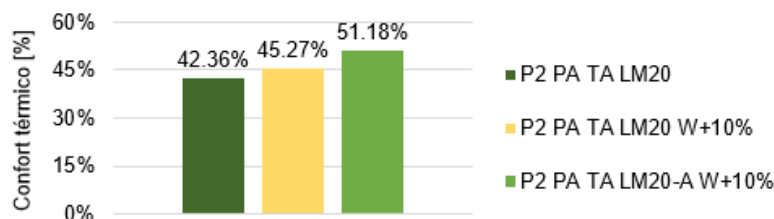


Figura 3.34 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones PA TA LM20 con aumento de acristalamiento y paredes aisladas. (Fuente: Propia)

El uso de aislamiento, al igual que el uso de ladrillo macizo de 20 cm, contribuye a tener temperaturas más estables como se ha mostrado a lo largo de este estudio. Sin embargo, el impacto de ambos en el porcentaje de confort térmico dependerá de las variables de cada zona en particular. En la Figura 3.32 se observa que, el porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 2 aumenta 5.39% cuando se usa aislamiento de 3cm de EPS en la superficie del techo y ladrillo macizo de 20 cm en lugar de bloque. Por otra parte, las figuras 3.33 y 3.34 muestran que el aumento del 10% de acristalamiento en las configuraciones PA TA B15 y PA TA LM20 elevan el porcentaje de confort térmico 4.29% y 2.91% respectivamente. Además, también se observa que del uso de 3 cm de EPS por el exterior de las paredes contribuye a que el porcentaje de confort térmico de esta zona supere el 50% en ambos casos.

### 3.1.4. Estudio paramétrico del espacio representativo 4

El espacio representativo 4 corresponde a la zona de Dormitorio 3 y se ubica en la tercera planta de la vivienda. Esta zona tiene el mayor porcentaje de confort térmico en el modelo base dado que tiene un acristalamiento del 60% en la pared este, lo cual permite gran captación de radiación solar en la mañana. Además, en días con alta radiación el techo expuesto aporta ganancias importantes al espacio durante la noche, pero en días con poca radiación esta superficie pierde mayor cantidad de calor de la que gana. Sin embargo, no se considera una superficie crítica dado que la mayor pérdida de calor en este espacio se debe a la baja inercia térmica de sus 4 paredes expuestas. Por lo tanto, para mejorar las condiciones térmicas de esta zona se debe cambiar la materialidad de sus paredes de bloque de 15 cm por ladrillo macizo de 20 cm. En la Figura 3.37 se presentan los resultados de dicha configuración, donde la nomenclatura P3 TE LM20 hace referencia a la configuración de la planta 3 con techo expuesto y paredes de ladrillo macizo de 20 cm.

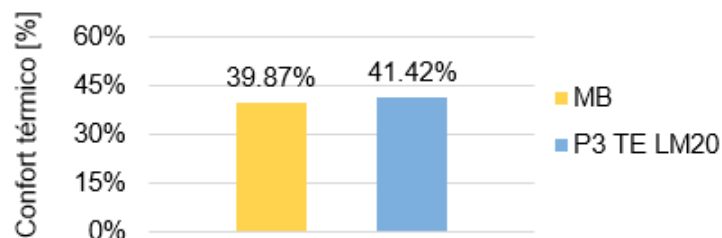


Figura 3.35 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en el modelo base y en la configuración con ladrillo macizo de 20cm.  
(Fuente: Propia)

El uso de ladrillo macizo de 20 cm contribuye a que la zona tenga temperaturas más estables y el confort térmico aumente 1.55%. Una vez realizada esta modificación se puede considerar el aislamiento del techo por el exterior como siguiente paso, el cual se evalúa de la misma manera que en los casos anteriores. En la Figura 3.36 se muestran las distribuciones de la temperatura de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con distintos espesores de aislamiento, donde P3 LM20 TA hace referencia a las configuraciones de la planta 3 con ladrillo macizo de 20cm y techo aislado con EPS.

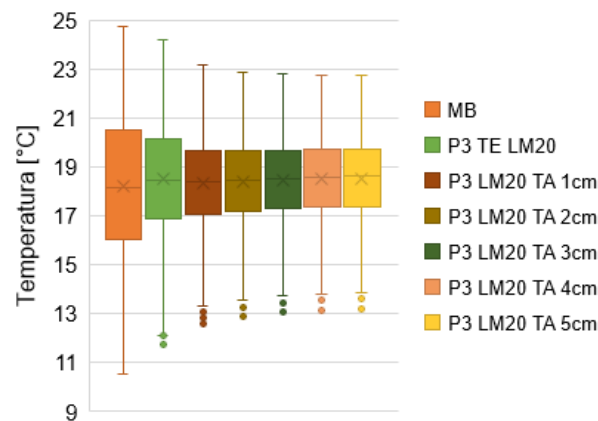


Figura 3.36 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con techo aislado  
(Fuente: Propia)

Tabla 3.6 Análisis estadístico de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con techo aislado

	<b>MB</b>	<b>P3 TE LM20</b>	<b>P3 LM20 TA 1cm</b>	<b>P3 LM20 TA 2cm</b>	<b>P3 LM20 TA 3cm</b>	<b>P3 LM20 TA 4cm</b>	<b>P3 LM20 TA 5cm</b>
Min	10.52	11.75	12.55	12.87	13.04	13.15	13.21
Q1	16.01	16.90	17.07	17.19	17.28	17.33	17.37
Mediana	18.16	18.46	18.37	18.45	18.52	18.57	18.60
Q3	20.48	20.12	19.64	19.63	19.67	19.70	19.72
Max	24.76	24.19	23.16	22.89	22.80	22.75	22.72
Promedio	18.18	18.48	18.33	18.39	18.46	18.50	18.53

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.36 se puede observar que el uso de ladrillo macizo junto con el mínimo espesor de aislamiento reduce 3.63°C la oscilación térmica. Por otro lado, al igual que en las evaluaciones anteriores, los espesores de aislamiento de 3 a 5 cm proporcionarán casi el mismo beneficio, por lo cual, el uso de 3 cm de EPS es suficiente para aislar la superficie del techo. A continuación, se muestra los porcentajes de confort térmico de la zona Dormitorio 3 en las configuraciones de techo expuesto y techo aislado.

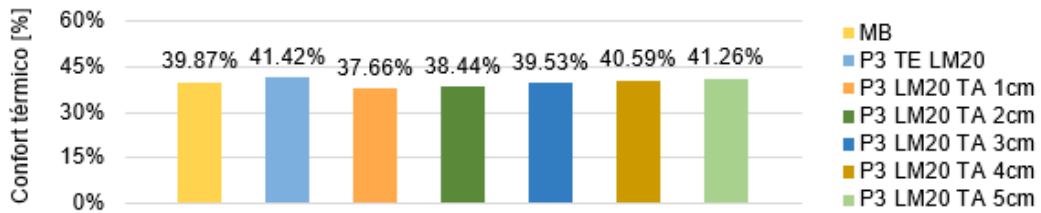


Figura 3.37 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en diferentes configuraciones de techo. (Fuente: Propia)

En esta figura se observa que todas las configuraciones de ladrillo macizo y techo aislado tienen porcentajes de confort térmico inferiores a la configuración P3 TE LM20. Por lo cual, en la Figura 3.38 se evalúan las temperaturas de las configuraciones P3 TE LM20, P3 LM20 TA 3 cm y P3 LM20 TA 5cm durante las semanas de estudio establecidas.

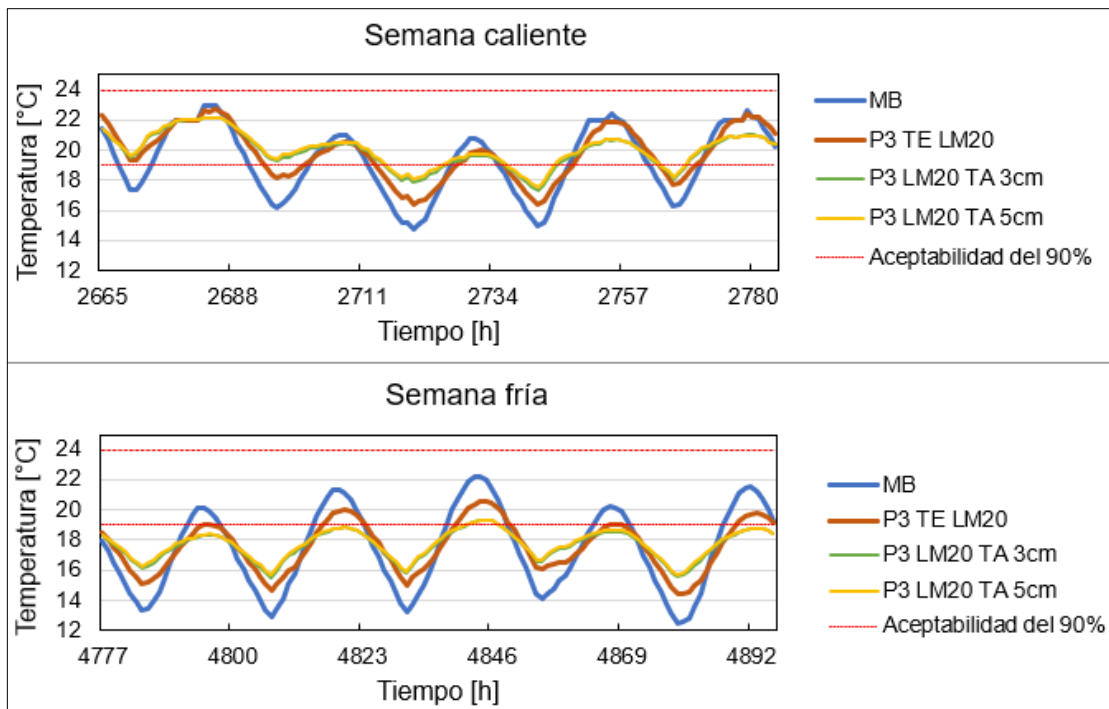


Figura 3.38 Temperaturas operativas de la zona Dormitorio 3 durante las semanas de estudio en el modelo base y en configuraciones de techo aislado con 3cm y 5cm de EPS. (Fuente: Propia)

En esta figura se puede observar que el aislamiento en el techo contribuye a disminuir las fluctuaciones de temperatura en ambas semanas. Es así como en la semana caliente las temperaturas de estas configuraciones se mantienen arriba de 18°C, mientras que en la semana fría se mantienen arriba de 16°C. Sin embargo, en la semana fría las configuraciones de techo aislado no entran en el rango de confort, por ello sus porcentajes de confort térmico en la Figura 3.37 son menores que la configuración de techo expuesto.

Por otro lado, se puede apreciar que los valores de temperatura de las configuraciones de techo aislado con 3 y 5 cm de EPS casi se traslapan por lo que el aumento de 1,9% en el confort térmico que se muestra en la Figura 3.37 se debe a mínimas diferencias de temperatura, lo cual se observa también en la Figura 3.36, donde las oscilaciones de estas configuraciones difieren 0.25°C.

Las siguientes configuraciones se realiza en base a la configuración P3 LM20 TA 3 cm y se evalúa la reducción del acristalamiento este, en el modelo base el porcentaje de acristalamiento de esta zona es 60% del área neta del muro y los porcentajes a evaluar son 50%, 40% y 30%. Asimismo, se evalúa el aumento del acristalamiento de la ventana norte de esta zona, los resultados se muestran en las figuras 3.39 y 3.40.

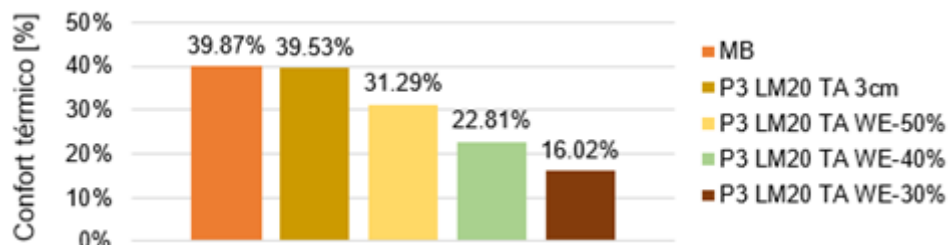


Figura 3.39 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones con distintos porcentajes de acristalamiento de la ventana este. (Fuente: Propia)

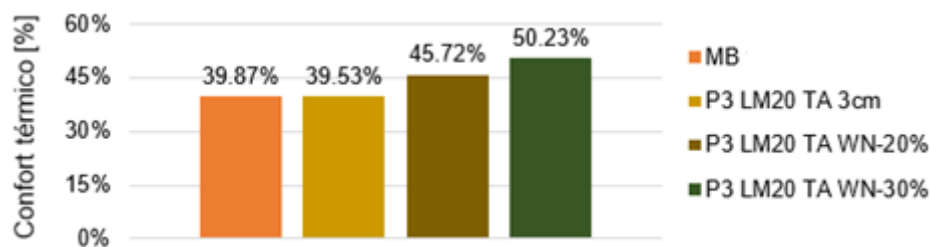


Figura 3.40 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones con distintos porcentajes de acristalamiento de la ventana norte. (Fuente: Propia)

Como se observa en la Figura 3.39. la reducción del área de la ventana este tiene un impacto negativo en el confort térmico dado que esta superficie es la que capta las mayores ganancias de calor durante el día. Por otro lado, en la Figura 3.40 se observa que el aumento del 20% y 30% acristalamiento en la ventana norte eleva el porcentaje de confort térmico de la zona 4.51% y 10.7% respectivamente, dado que este aumento permitirá mayor captación de radiación solar.



Para finalizar el estudio paramétrico de esta planta se evaluó el aislamiento total de la envolvente de la planta 3. Esto se realiza en dos configuraciones diferentes, una en base de la configuración P3 LM20 TA WN-30% y la otra en una configuración con paredes de bloque de 15 cm. Los resultados se muestran en las figuras 3.41 y 3.42.

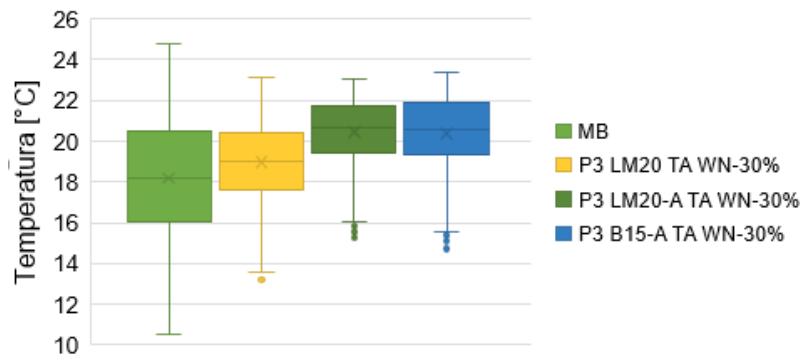


Figura 3.41 Diagrama de caja de la temperatura de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con aislamiento total de envolvente.  
(Fuente: Propia)

Tabla 3.7 Análisis estadístico de la zona Dormitorio 3 en configuraciones con aislamiento total de envolvente

	<b>MB</b>	<b>P3 LM20 TA WN-30%</b>	<b>P3 LM20-A TA WN-30%</b>	<b>P3 B15-A TA WN-30%</b>
Min	10.52	13.20	15.25	14.71
Q1	16.01	17.63	19.46	19.31
Mediana	18.16	19.01	20.66	20.61
Q3	20.48	20.37	21.76	21.86
Max	24.76	23.15	23.03	23.34
Promedio	18.18	18.95	20.45	20.39

(Fuente: Propia)

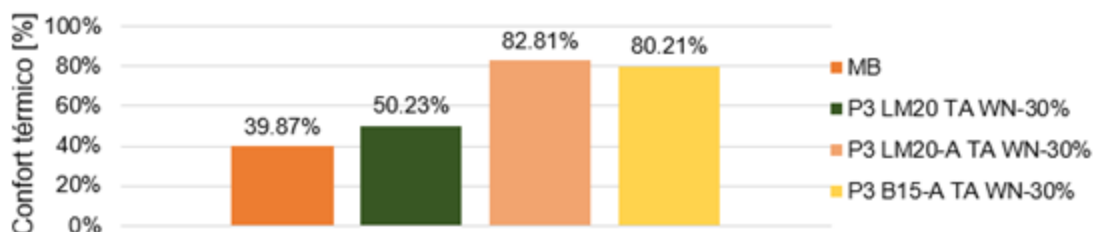


Figura 3.42 Porcentaje de confort térmico de la zona Dormitorio 3 con el 90% de aceptabilidad en configuraciones con aislamiento total de envolvente.  
(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la Figura 3.41 las temperaturas operativas de la zona Dormitorio 3 son más estables en las configuraciones con envolvente completamente aislada y están concentradas en el rango de confort con 90% de aceptabilidad. Así mismo, en la Figura 3.42 se observa que estas configuraciones superan el 80% de confort térmico anual, siendo la configuración P3 LM20-A TA WN-30% superior en 2.6% a la configuración de bloque de 15cm aislado P3 B15-A TA WN-30%, dado que el aislamiento brinda mayor beneficio cuando el material de soporte tiene mayor inercia térmica.

### **3.1.5. Propuesta final de vivienda**

Esta propuesta se realiza en base a los resultados obtenidos del estudio paramétrico y considera fundamentalmente implementaciones que evitan las pérdidas de calor en superficies críticas de la vivienda. Para ello se propone el aislamiento con poliestireno expandido en las siguientes superficies:

- Suelo de la planta 1 (3cm)
- Techo de la planta 1 (2cm)
- Suelo expuesto de la planta 2 (3cm)
- Techo de la planta 2 (3cm)
- Techo de la planta 3 (3cm)

Además, se propone el uso de materiales con alta inercia térmica en todas las plantas, en este caso el ladrillo macizo de 20cm debido a que este material capta la radiación solar más lento en comparación al bloque y así mismo transfiere el calor hacia el exterior, siendo este retraso el que contribuye a que la temperatura interior de la vivienda no alcance temperaturas tan bajas como el bloque cuando no hay radiación solar. Además, se descarta el uso de aislamiento en las paredes de la envolvente debido a que significaría una gran inversión inicial en la vivienda y el beneficio de esta implementación se refleja en su mayoría en horarios de descanso, es decir entre las 22h00 y 06h00. Horario en que los espacios de la planta 1 tendrán ocupación nula y, por otro lado, al ser un periodo de descanso el rango de confort puede ampliarse de 17°C a 25°C según lo explicado en la sección 1.4, considerando que el clima de Quito es generalmente frío y que los ocupantes de la vivienda son adultos en su mayoría.

Por otra parte, en la propuesta final el acristalamiento de la vivienda mantendrá el porcentaje del modelo base en la planta 1, mientras que para la planta 2 tendrá un aumento

del 10% en todas las ventanas y en la planta 3 se propone aumentar de 10% a 30% el acristalamiento de la ventana norte del dormitorio 3. A continuación se muestran los porcentajes de confort con el 90% de aceptabilidad de las zonas habitables de la vivienda propuesta junto con los porcentajes de confort del modelo base.

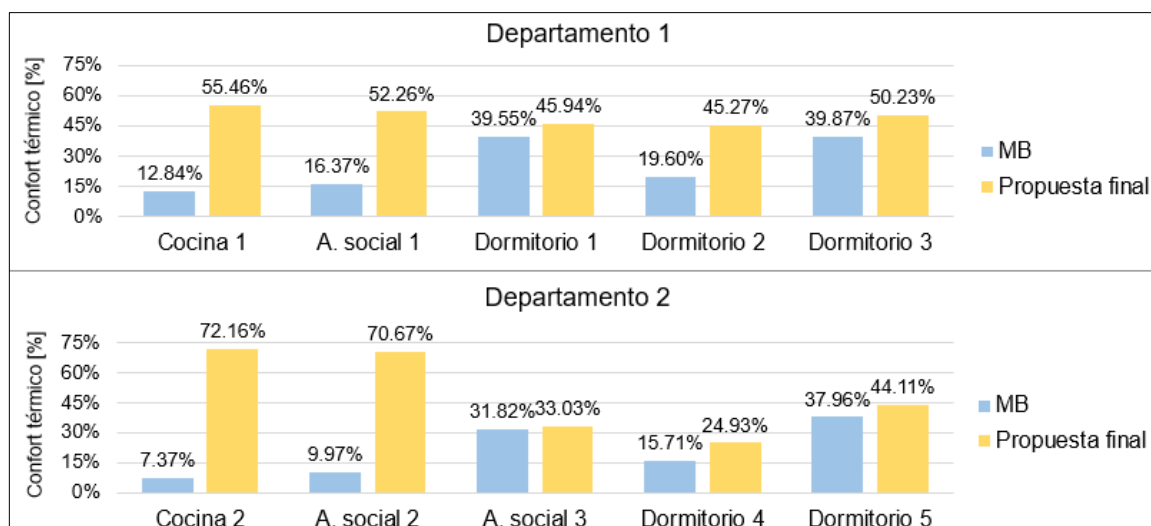


Figura 3.43 Comparación de los porcentajes de confort térmico con el 90% de aceptabilidad entre la propuesta final y el modelo base. (Fuente: Propia)

En esta figura se observa que las estrategias implementadas permiten mejorar el confort térmico de todos los espacios en mayor o menor proporción. En este punto destacan las zonas de la planta 1 (espacios de cocinas y áreas sociales) debido a que son los espacios con el ambiente térmico más precario de la vivienda en el modelo base por su condición de piso con contacto a tierra y en la propuesta final su porcentaje de confort supera el 50% en las zonas del departamento 1 y el 70% en las zonas del departamento 2. Esta diferencia se debe a que los espacios del departamento 2 son colindantes y por lo tanto su pared con orientación este no va a estar expuesta a condiciones ambientales. Asimismo, se destaca el comportamiento de la zona Dormitorio 2 debido a que su porcentaje de confort aumentó significativamente, siendo su cambio más importante el aislamiento por el exterior del piso expuesto. Como se ha señalado anteriormente el uso de aislamiento y de materiales de alta inercia térmica reducen las fluctuaciones de temperatura en el interior de la vivienda, lo cual contribuye a tener temperaturas más estables. Sin embargo, la reducción de esta fluctuación también provoca que las temperaturas internas no alcancen el rango de confort de 90% de aceptabilidad y por lo tanto ciertos cambios pueden parecer irrelevantes. Por ello es necesario graficar las temperaturas del espacio en semanas determinadas con el fin de entender mejor el comportamiento térmico de las zonas y, además, evaluar el confort

con el rango de 80% de aceptabilidad. A continuación, se muestran los porcentajes de confort térmico de las zonas habitables de la vivienda obtenidos con el 80% de aceptabilidad.

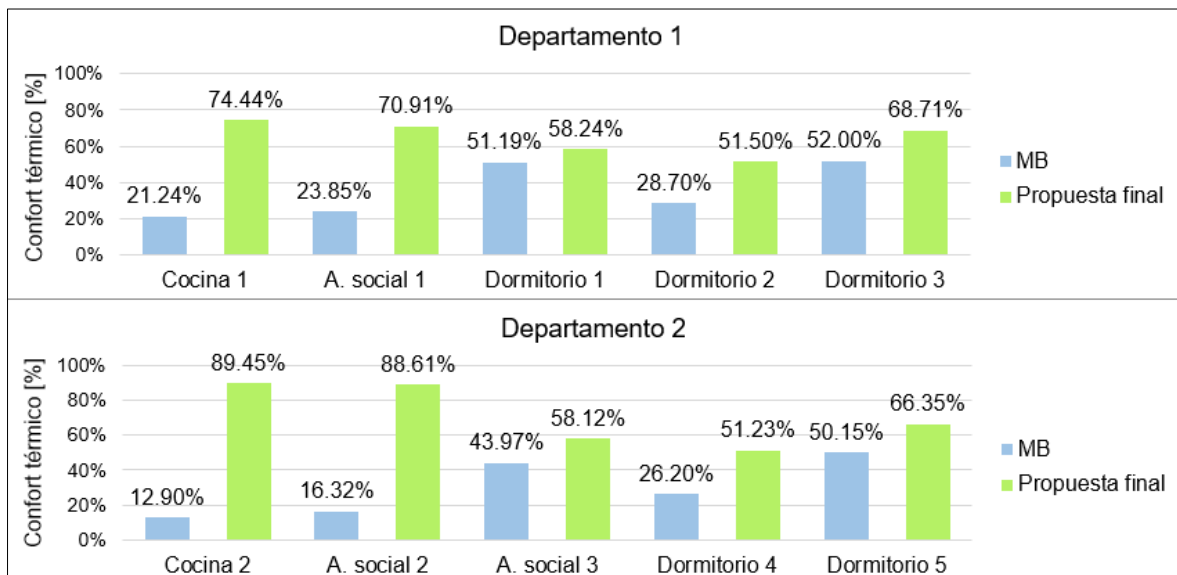


Figura 3.44 Comparación de los porcentajes de confort térmico con el 80% de aceptabilidad entre la propuesta final y el modelo base.  
(Fuente: Propia)

En esta figura se observa que las zonas de las plantas 1 y 3 de la vivienda alcanzan porcentajes superiores al 65% siendo los espacios de la planta 1 los que tienen mayor confort térmico. Por otro lado, todos los espacios de la planta 2 superan el 50% de confort térmico. Estos espacios pueden alcanzar mejores niveles de confort con el aislamiento total de la envolvente, sin embargo, como se mencionó anteriormente esto significaría una gran inversión en la vivienda.

## 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente trabajo académico se realizó el modelo térmico de una vivienda a ser construida en Quito. Mediante el software eQuest, se elaboró un modelo de referencia con un sistema constructivo convencional, en el cual se identificaron los espacios de la vivienda que necesitaban mejorar su ambiente térmico interior. Sobre este modelo se desarrolló un estudio paramétrico en espacios representativos aplicando y evaluando estrategias pasivas de diseño como: mejoramiento de la envolvente térmica y captación solar. El comportamiento térmico de la vivienda fue evaluado mediante indicadores de confort adaptativo determinados según la norma ASHRAE 55 y en base a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- El marcado déficit de confort térmico por sobre enfriamiento que presenta el modelo de referencia fue reducido al emplear las estrategias pasivas planteadas en este trabajo. La segregación del modelo por departamentos, zonas y superficies fue fundamental para implementar dichas estrategias, dado que permitió conocer las zonas más afectadas por el sobre enfriamiento y la causa del mismo. Además, el hecho de graficar las temperaturas internas de los espacios en periodos relevantes del año contribuyó a observar de mejor manera el efecto de estas estrategias dentro y fuera del rango de confort.
- La estrategia pasiva que proporcionó mejores resultados en este modelo fue el uso de aislamiento por el exterior dado que contribuye a que los espacios tengan temperaturas más estables y alcancen niveles de confort que no son alcanzados con el uso de ladrillo o aumento del acristalamiento. En trabajos previos se sugiere la implementación de aislamiento en las construcciones de Quito, en especial en el techo. Sin embargo, esto depende de la particularidad de cada proyecto y su aplicación debe ser evaluada centímetro a centímetro debido a que el beneficio que proporciona no tiene una relación lineal con su espesor. En el modelo de referencia el uso de aislamiento fue prioritario en las superficies correspondientes a suelos en los espacios representativos 1 y 3 (suelo con contacto a tierra y suelo expuesto respectivamente), dado que son las superficies donde impera la pérdida de calor.
- La propuesta final que se planteó, en base al estudio paramétrico realizado, tiene mejores condiciones de habitabilidad y por lo tanto proporcionará una mejor calidad

de vida a sus habitantes. Los resultados obtenidos empleando el rango de confort con el 90% de aceptabilidad mostraron que la mejora más significativa se encuentra en la planta 1, dado que en el modelo de referencia esta planta tiene los porcentajes de confort más bajos, inferiores al 17%, y en la propuesta realizada el confort térmico de la planta 1 supera el 52% en las zonas del departamento 1 y el 70% en las zonas de departamento 2. Por otro lado, en las plantas 2 y 3 sólo hay una zona que supera el 50% de confort térmico.

- El confort térmico de las zonas de la propuesta final alcanza un mayor porcentaje al ser evaluadas con el rango de 80% de aceptabilidad, todas las zonas de la planta 1 superan el 70% de confort térmico, mientras que en la planta 2 superan el 51% y en la planta 3 superan el 66%. El aumento de este porcentaje se debe al ampliar el límite inferior del rango de confort de 19°C a 18°C, dado que la mayoría de las temperaturas que se encuentran fuera del rango de confort están concentradas en el rango de sobre enfriamiento. Por otro lado, los porcentajes de confort térmico de las plantas 1 y 3 son superiores a los de la planta 2 para ambas aceptabilidades debido a que las ventanas con orientación este-oeste captan mayor radiación solar y el sobre enfriamiento será menor en dichas plantas.

Un porcentaje de confort térmico del 100% al año sería lo ideal en toda vivienda, sin embargo, debido a las diferentes altitudes de la región andina, la aplicación de medidas pasivas puede ser insuficientes para alcanzar este nivel de confort. Por lo cual se recomienda para trabajos futuros realizar estudios que permitan establecer lineamientos de confort térmico mínimo que deben tener las viviendas según la altura a la que se encuentran. Por otro lado, en este estudio se empleó como material de aislamiento el poliestireno expandido (EPS), dado que es un material disponible en el mercado, liviano y relativamente económico. Sin embargo, este material tiene gran cantidad de energía embebida en su fabricación, en este contexto se recomienda estudiar la energía embebida de los materiales que son empleados en los distintos sistemas constructivos de la ciudad o región del Ecuador en pos de contribuir a mejorar la eficiencia energética de las edificaciones.

## Referencias Bibliográficas

- [1] L. F. RAMÍREZ SANTACRUZ, "Arquitectura social prefabricada sostenible para la región Sierra del Ecuador," pp. 1–115, 2017, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/78156>.
- [2] N. Libertun de Duren *et al.*, "Vivienda ¿Qué viene?: De pensar la unidad a construir la ciudad," *Vivienda ¿Qué viene? pensar la unidad a construir la Ciudad*, 2018, doi: 10.18235/0001594.
- [3] Defensoría del Pueblo de Ecuador. Dirección General de Usuarios de Servicios Públicos Domiciliarios, *Soporte teórico normativo sobre el derecho a la vivienda digna en Ecuador: conceptos, normativa y buenas prácticas. Autoedición*. Quito, Ecuador, 2020.
- [4] J. Ruiz, "EL PROBLEMA DE LA VIVIENDA EN EL ECUADOR Y SUS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN," 1988.
- [5] M. B. Culcay and M. V. Maldonado, "Prototipo de vivienda social sostenible," *Prototipo vivienda Soc. Sosten.*, p. 337, 2016.
- [6] C. Cevallos, "Programa de arrendamiento de vivienda social: Alternativa para reducir el déficit de vivienda social, generar mayor asequibilidad y disminuir la segregación espacial en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).," 2019.
- [7] NEC-11, "NEC-11: Eficiencia energética en la construcción," p. 51, 2011.
- [8] J. E. Muñoz Carrillo and I. A. Prado Pozo, "Estudio experimental del comportamiento térmico de una vivienda en Quito situada en el barrio La Vicentina," 2018, [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19121>.
- [9] A. Toasa, "EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE TRES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE VIVIENDAS COMUNES PARA CLIMA TEMPLADO EN LA REGIÓN ANDINA DEL ECUADOR." 2019.
- [10] M. F. Vasquez, "ESTUDIO DE MODELOS DE CONFORT TÉRMICO EN ZONAS DE ALTURA EN LA REGIÓN DE LOS ANDES DE ECUADOR," p. 157, 2019.
- [11] E. J. Cárdenas Ramos and D. E. Fernández Jiménez, "Estudio de la influencia del factor de forma sobre la temperatura operativa de edificaciones en la ciudad de Quito, mediante simulación en EnergyPlus," 2017, [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18988>.
- [12] P. R. Castro Da Silva, "Estudio de sensibilidad de las características constructivas para edificios residenciales en Quito mediante simulación." p. 74, 2017, [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17262>.
- [13] F. Jacome, "Estudio De Sensibilidad De Los Parametros Que Influyen En El Comportamiento Termico De Una Vivienda De Quito Con Ganancias Internas Usando Simulacion Energetica," p. 145, 2018, doi: 10.1103/PhysRevX.7.041008.
- [14] C. L. R. R. ;José R. S. Villacís, "Estudio De La Relevancia De Los Parámetros Que Influyen En El Comportamiento Energético De Un Edificio Residencial De La Ciudad De Quito Utilizando Modelamiento En Matlab.," 2016.
- [15] A. General, N. Unidas, E. Miembros, and N. Unidas, "Editorial: The 'Universal'

- Declaration of Human Rights,” *Philosophy*, vol. 92, no. 3, pp. 331–332, 2017, doi: 10.1017/S0031819117000274.
- [16] I. Miño, A. Lobato, and J. Labus, “Simulaciones energéticas como herramienta para evaluación térmica de las viviendas sociales del Ecuador : Caso Yachay,” pp. 1–8, 2013.
- [17] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), “Condiciones de Vida de los Ecuatorianos - Vivienda,” p. 20, 2006.
- [18] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, “Balance energético nacional 2019,” 2019.
- [19] Z. Liu, Q. Zhou, Z. Tian, B. jie He, and G. Jin, “A comprehensive analysis on definitions, development, and policies of nearly zero energy buildings in China,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 114, no. July 2019, p. 109314, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.109314.
- [20] J. Fullea, P. Linares, F. J. Barroso, and G. Rentero, “Informes de la Construcción, Vol 66, No 535 (2014),” vol. 66, no. 535, pp. 1–15, 2016.
- [21] A. Gallardo, G. Villacreses, M. Almaguer, J. Martínez, and A. Lobato-, “Estimating the indoor thermal comfort deficit in the social housing built in Ecuador by integrating Building Information Modelling and Geographical Information Systems Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables , Quito , Ecuador,” 2013.
- [22] E. S. Gutiérrez, “Culturas constructivas locales para la resiliencia y el desarrollo,” pp. 1–28, 2017.
- [23] E. Feijoó, “Boletín Técnico N° 01-2017-GAD Municipales,” *Boletín Técnico N° 01-2017-GAD Munic.*, p. 11, 2020, [Online]. Available: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin\\_tecnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin_tecnico.pdf).
- [24] C. Tamayo, “EVALUACIÓN TÉCNICO – FINANCIERA ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA EDIFICIOS CON ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO, DE ACERO Y MIXTA EN QUITO’. (Tesis de pregrado),” pp. 39–85, 2014.
- [25] A. Espinoza and J. Morán, “Sistemas constructivos ventajas y desventajas.,” 2017.
- [26] A. Godoy Muñoz, “El confort térmico adaptativo: aplicación en la edificación en España,” p. 64, 2012.
- [27] S. C. Turner *et al.*, “ASHRAE STANDARD. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” vol. 55, pp. 227–227, 2010, doi: 10.1007/0-387-26336-5\_1680.
- [28] E. Soto-Estrada, F. Álvarez-Carrascal, J. Gómez-Lizarazo, and D. Valencia-Montoya, “Confort térmico en viviendas de Medellín,” *Issn*, vol. 18, no. 35, pp. 2248–4094, 2019.
- [29] R. J. De Dear and G. S. Brager, “Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55,” *Energy Build.*, vol. 34, no. 6, pp. 549–561, 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00005-1.
- [30] T. W. Tsang, K. W. Mui, and L. T. Wong, “Investigation of thermal comfort in sleeping environment and its association with sleep quality,” *Build. Environ.*, vol.



- 187, p. 107406, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107406.
- [31] K. Okamoto-Mizuno, K. Tsuzuki, K. Mizuno, and Y. Ohshiro, "Effects of low ambient temperature on heart rate variability during sleep in humans," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 105, no. 2, pp. 191–197, Jan. 2009, doi: 10.1007/s00421-008-0889-1.
- [32] K. Okamoto-Mizuno and K. Tsuzuki, "Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 54, no. 4, pp. 401–409, Jul. 2010, doi: 10.1007/s00484-009-0291-7.
- [33] K. Okamoto-Mizuno, Kazue; Mizuno, "Effects of thermal environment on human sleep and thermoregulation," *Japanese J. Biometeorol.*, vol. 50, no. 4, pp. 125–134, 2014, doi: 10.11227/seikisho.50.125.
- [34] C. Song, Y. Liu, X. Zhou, and J. Liu, "Investigation of Human Thermal Comfort in Sleeping Environments Based on the Effects of Bed Climate," *Procedia Eng.*, vol. 121, pp. 1126–1132, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.09.118.
- [35] G. Zheng, K. Li, and Y. Wang, "The effects of high-temperature weather on human sleep quality and appetite," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 2, pp. 1–13, 2019, doi: 10.3390/ijerph16020270.
- [36] L. Lan, Z. W. Lian, X. L. Qian, and C. Z. Dai, "The effects of programmed air temperature changes on sleep quality and energy saving in bedroom," *Energy Build.*, vol. 129, pp. 207–214, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.08.001.
- [37] L. Lan, K. Tsuzuki, Y. F. Liu, and Z. W. Lian, "Thermal environment and sleep quality: A review," *Energy Build.*, vol. 149, pp. 101–113, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.05.043.
- [38] G. Sandoya, Adrián; Ordóñez, "NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción-Eficiencia Energética de las edificaciones Residenciales (EE)," 2018.
- [39] AIA, "Integrating Energy Modeling," pp. 1–86, 2012.
- [40] W. Li *et al.*, "Modeling urban building energy use: A review of modeling approaches and procedures," *Energy*, vol. 141, pp. 2445–2457, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.11.071.
- [41] A. Nutkiewicz, R. K. Jain, and R. Bardhan, "Energy modeling of urban informal settlement redevelopment: Exploring design parameters for optimal thermal comfort in Dharavi, Mumbai, India," *Appl. Energy*, vol. 231, no. June, pp. 433–445, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.09.002.
- [42] H. Rallapalli, "A Comparison of EnergyPlus and eQUEST Whole Building Energy Simulation Results for a Medium Sized Office Building," *Summ. policy makers*, vol. 53, no. December, pp. 1–36, 2010.
- [43] L. Berkeley *et al.*, "Auxiliary Programs," 2017.
- [44] M. S. Addison and J. J. Hirsch, "eQUEST Training Workbook," no. September, 2004.
- [45] B. L. G. Lema and A. O. V. Tomalá, "Feasibility of Expandable Polystyrene in the Construction of Housing of Social Interest in the City of Azogues," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1203, no. 3, p. 032122, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1203/3/032122.

# ANEXO I.

## COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL DEPARTAMENTO 2 DEL MODELO DE REFERENCIA EN LAS SEMANAS DE ESTUDIO

