

Analysis of the Thermal Comfort Perception in Residential Buildings in Loja City based on Ecuadorian Energy Efficiency Standard

Análisis de Percepción del Confort Térmico de Edificaciones Residenciales en la Ciudad de Loja basado en la Norma Ecuatoriana de Eficiencia Energética

K.T. Tituana¹
 0009-0002-9920-2085 V.F. Guillén^{2,3}
 0000-0003-4001-1831
¹Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, EcuadorE-mail: kbtituana@utpl.edu.ec, vguillen001@ikasle.ehu.eus²Universidad del País Vasco UPV/EHU, Departamento de Ingeniería Energética, Escuela de Ingenieros de Bilbao, Bilbao, EspañaE-mail: vguillen001@ikasle.ehu.eus

Abstract

The building envelope plays a crucial role in interior thermal comfort and energy efficiency. Hence, the importance of implementing the energy efficiency chapter of the Ecuadorian Construction Standard (NEC-HS-EE). This chapter establishes minimum requirements for thermal transmittance of envelope elements. However, it is unknown whether these values guarantee a satisfactory perception of indoor thermal comfort. This study aims to determine the thermal comfort perception in residential buildings in Loja city, through defining typologies and characterizing their envelope. Typologies are defined using information from the National Building Survey (ENED), while the envelope is characterized by surveying construction professionals in the locality. Finally, a thermal perception survey is conducted on occupants of the defined typologies. The results show that several construction packages comply with the NEC-HS-EE standard (except for the use of 7 cm thick brick wall, which is a common practice) and provide satisfactory comfort perception to occupants during the day, achieving a comfort perception within 80% acceptability. However, this is not maintained during the night.

Index terms— Thermal perception, envelope, thermal transmittance, energy efficiency, building typologies.

Resumen

La envolvente desempeña un papel crucial en el confort térmico interior y eficiencia energética de las edificaciones, por ello la importancia de la implementación del capítulo de eficiencia energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-HS-EE). Este capítulo establece requisitos mínimos de transmitancia térmica para elementos de la envolvente. Sin embargo, se desconoce si estos valores garantizan una percepción satisfactoria del confort térmico interior. El presente estudio tiene como objetivo determinar la percepción de confort térmico en edificaciones residenciales en la ciudad de Loja, a través de la definición de la tipologías y caracterización de su envolvente. Para la definición de tipologías se considera la información de la Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED), mientras que, para la caracterización de la envolvente se encuesta a profesionales de la construcción en la localidad. Finalmente, se aplica una encuesta de percepción térmica a ocupantes de las tipologías definidas. Los resultados muestran que, varios paquetes constructivos cumplen con la NEC-HS-EE (a excepción del uso de pared de ladrillo de 7 cm de espesor, que representa una práctica común) y brindan una percepción satisfactoria de confort a los ocupantes durante el día, alcanzando una percepción de confort dentro del 80% de aceptabilidad, no obstante, esto no se mantiene durante la noche.

Palabras clave— Percepción térmica, envolvente, transmitancia térmica, eficiencia energética, tipologías edificatorias.

Recibido: 28-04-2024, Aprobado tras revisión: 13-06-2024

Forma sugerida de citación: K., Tituana-Tituana; V., Guillén-Mena (2024). "Percepción de confort térmico mediante la caracterización de la envolvente de edificaciones residenciales en la ciudad de Loja". Revista Técnica "energía". No. 21, Issue I, Pp. 122-132

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024.647>

© 2024 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



Esta publicación está bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento – No Comercial 4.0



1. INTRODUCCIÓN

El Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035 (PLANEE) [1], establece como meta del objetivo del eje residencial, que para el año 2020, el 20% de los GADs implementen y apliquen la normativa NEC-HS-EE [2] de forma satisfactoria; sin embargo, a la fecha aún no se ha cumplido. La aplicación de normativas de eficiencia energética “representan una oportunidad significativa para ahorrar energía y mitigar emisiones de GEI en edificaciones residenciales y no residenciales” [3].

En muchos países alrededor del mundo, se han establecido requisitos prescriptivos para los diseños de envolventes de edificios. Estas regulaciones, destinadas a controlar el diseño especifican los límites mínimos y máximos aceptables de ganancia de calor a través de las envolventes. De esta manera se promueve diseños energéticamente eficientes con características térmicas óptimas de los materiales, como el valor U, resistencia térmica (valor R) y coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) [4].

Dentro de los requisitos prescriptivos que deben cumplirse dentro de la norma NEC-HS-EE se encuentra el valor máximo de transmitancia térmica para elementos constructivos opacos (techos, paredes, pisos y puertas opacas) y ventanas (verticales y horizontales), los mismos que están determinados según la zona climática en donde se encuentra la edificación [2].

Además de estos valores, la normativa establece otros parámetros que se deben cumplir para mejorar el desempeño de la envolvente como infiltración de aire, calidad de aire e iluminación para viviendas, la reflectancia solar de la cubierta, el coeficiente de ganancia de calor solar, relación ventana-muros, entre otros.

Los valores de propiedades de materiales de construcción usados en la norma NEC-HS-EE como información para el cálculo de transmitancia térmica, que se presentan en sus anexos se encuentran basados en normas internacionales como la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 [5] y otras fuentes bibliográficas, por lo que, en su contexto se refiere a la necesidad de establecer valores mediante ensayos realizados dentro del país y materiales locales.

Esta normativa aún no se ha visto implementada, más es importante validar su aplicación, por lo que el presente trabajo se ha visto motivado para verificar que los valores de transmitancia térmica establecidos como máximos para la ciudad de Loja, sobre viviendas existentes, sean suficientes para generar una percepción aceptable del confort y pueda ser aplicado a nuevas construcciones y remodelaciones

Entre los estudios revisados a nivel nacional encontramos un estudio [6], que establece un déficit cualitativo de las viviendas en Ecuador, lo que significa que no están construidas con materiales adecuados. De

igual manera en [7] afirma que el ámbito de la construcción “no contempla las propiedades termofísicas de los materiales en función de las condiciones climáticas a las cuales están expuestas”; además, en su estudio evalúa el confort interior de la aplicación de materiales de cambio de fase (PCM) en tres sectores del Ecuador, mediante simulaciones cuyos resultados muestran que su uso es beneficioso en Quito. En Zumbahua no mejora las condiciones de aire interior. Finalmente, en Guayaquil resulta beneficioso su uso en viviendas en combinación con sistemas de aire acondicionado.

El estudio elaborado por [8], evalúa condiciones de confort específicas para la zona de Quito a través de un estudio de campo comparativo entre el modelo adaptativo propuesto por la Norma UNE-EN 15251, y el modelo estático PMV, para establecer un registro de confort térmico de edificaciones de oficinas acondicionadas naturalmente en una zona climática determinada. Como base para futuras investigaciones, obtiene que el método de aplicación adecuado en zonas templadas y con variaciones de temperaturas bajas es el método adaptativo de la norma UNE-EN 15251, y el método Griffiths para establecer el rango de temperatura adecuado. El modelo PMV tiende a subestimar o sobreestimar la sensación de los ocupantes.

En Cuenca, el estudio de [9] toma en cuenta factores ambientales y la percepción de ocupantes de viviendas, para definir los rangos de confort adaptados al lugar, mediante un análisis de regresión. Además, analiza la calidad del aire, confort visual y confort auditivo. Usa el método adaptativo establecido en la ISO 7730 [10], UNE-EN-15251 [11] y ASHRAE 55 [12]; y la escala de 7 puntos de Fanger para las encuestas [12]. En cuanto a la percepción de confort como resultados obtiene que el 65% de usuarios considera que la temperatura interior es confortable y se evidencia que los ocupantes tienden a adaptarse a una temperatura menor que lo establecido por las normas.

De igual manera uno de los estudios que destacan es la evaluación del confort térmico en viviendas de interés social elaborado por [13] mediante simulaciones en software Design Building analiza el rendimiento térmico de los materiales utilizados, en cada parroquia del Ecuador Continental, ya que estas edificaciones se encuentran implantadas en diversos lugares, sin considerar las diferentes condiciones. Como resultado se obtiene un mapa del Ecuador de clasificación según las horas que no se encuentran en confort. Con respecto a la ciudad de Loja se encuentra dentro de la Clase 3: 4101-5100 h. En esta clasificación las viviendas tienen un rendimiento térmico aceptable, ya que las horas que se encuentra en disconfort, son horas de la noche o madrugada en donde los habitantes normalmente duermen. Por esta razón recomienda el uso de materiales tradicionales, ya que los materiales que conforman estas edificaciones no cumplen con las condiciones requeridas

de confort, y el uso estrategias bioclimáticas. Las estrategias de diseño recomendadas consisten en aprovechar las ganancias de calor interna y emplear estrategias de calentamiento pasivo.

De acuerdo a [8] en el Ecuador, en el sector de la construcción los problemas de confort aún no juegan un papel importante en la etapa de diseño y en el funcionamiento diario, principalmente debido a la falta de conocimiento y comprensión del confort térmico humano, por lo que es importante la implementación de estándares de confort térmico en las edificaciones del país.

De esta manera se puede establecer la importancia de ejecutar esta investigación, ya que los materiales usados regularmente como envolvente en las construcciones contemporáneas no han sido analizados y evaluados tanto en sus propiedades térmicas y paralelamente con la percepción de confort interior que estas brindan a sus habitantes. Además, la mayoría de los estudios se han realizado previo a que se publicara la Norma de Eficiencia Energética de Ecuador (NEC-HS-EE) [2]. Con lo cual hace falta contar con estudios que permitan determinar el aporte de esta Norma en obtener eficiencia energética y confort en viviendas

Por tanto, el objetivo del presente estudio consiste en determinar la percepción del confort térmico a través de la caracterización de materiales predominantes en la envolvente de las edificaciones residenciales de la ciudad de Loja. Para ello, se propone establecer tipologías representativas de edificaciones residenciales con base en los materiales de construcción comúnmente utilizados, que se obtienen de la Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED). Posteriormente se plantea la caracterización de la envolvente basado en los requisitos establecidos por la NEC-HS-EE y encuestas a profesionales locales y el análisis de confort interior de los habitantes mediante el método adaptativo, para determinar los rangos de aceptabilidad de confort.

Este estudio permite determinar que, en su mayoría, los paquetes constructivos usados por los constructores cumplen con los requisitos máximos de transmitancia térmica. Sin embargo, se logra determinar que cuando se usa paredes de ladrillo de 7cm, que es una práctica común en la construcción, no se cumple con el valor máximo establecido. Con respecto al confort térmico se encontró que los sistemas constructivos utilizados en la localidad cumplen, en su mayoría con las exigencias de transmitancia térmica de envolvente y permiten alcanzar el confort la mayor parte del tiempo durante el día, mientras que en la noche se experimenta disconfort, especialmente en la planta baja.

El documento se estructura de la siguiente manera: en la siguiente sección se aborda la metodología, que consiste en la definición de tipologías representativas para el área urbana de Loja, la caracterización de la envolvente de las viviendas y la percepción de confort

térmico interior. En la sección 3 se presentan los resultados obtenidos, en la sección 4 la discusión y finalmente en la sección 5 las conclusiones y recomendaciones.

2. METODOLOGÍA

El estudio se realiza en el área urbana de la ciudad de Loja, al sur del Ecuador. Se localiza en la latitud -4.03° y longitud -79.20° , a una altitud aproximada de 2040 msnm. La ciudad presenta un clima "continental lluvioso" [2], con $CDD10^\circ C \leq 2500$ y $HDD18^\circ C \leq 2000$. Su temperatura media anual es de $16^\circ C$ y la humedad relativa de 74.06%. Existe una variación de temperatura diaria que puede alcanzar los $20^\circ C$ en medio día. Las horas de la madrugada y noche son las más frías, mientras que, al medio día se incrementa hasta alcanzar los niveles de confort térmico, que se encuentran establecidos en la NEC-HS-CL entre $20^\circ C$ y $23^\circ C$ para el clima frío [14]. Los meses más fríos son de junio a septiembre y los meses más cálidos de noviembre a enero.

Según la Norma NEC-HS-EE los requisitos para la envolvente (Valor U) que se debe cumplir en el piso climático indicado son los que se muestran en la (Fig. 1).

Elementos opacos	Habitable				No habitable	
	Climatizado		No climatizado		Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento
	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento		
Techos	U-0.273	R-3.5	U-2.9	R-0.89	U-4.7	R-0.21
Paredes, sobre nivel del terreno	U-0.592	R-1.7	U-2.35	R-0.36	U-5.46	NA
Paredes, bajo nivel de terreno	C-6.473	NA	C-6.473	NA	C-6.473	NA
Pisos	U-0.496	R-1.5	U-3.2	R-0.31	U-3.4	NA
Puertas opacas	U-2.839	NA	U-2.6			
Ventanas	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC
Vidriado vertical $\geq 45^\circ$	U-3.69	SHGC-0.25	U-5.78	SHGC-0.82	U-6.81	NA
Vidriado horizontal $< 45^\circ$	U-6.64	SHGC-0.36	U-6.64	SHGC-0.36	U-11.24	NA

Figura 1: Requisitos de envolvente para la zona climática 3 según NEC-HS-EE

La investigación se desarrolló en tres pasos: el primero consistió en identificar las tipologías representativas del parque residencial de Loja, el segundo paso en caracterizar las envolventes de las tipologías definidas y finalmente en la aplicación de encuestas de percepción a los habitantes.

2.1 Identificación de tipologías representativas

Para identificar las tipologías representativas del parque residencial de la ciudad de Loja se consideran los datos de permisos de construcción otorgados por el GAD Municipal, obtenidos mediante la Encuesta ENED correspondiente al año 2019 [15].

A partir de esta información, se identificó el tipo de edificación predominante, el número de pisos y los materiales comúnmente empleados. Para el análisis de la materialidad se considera las viviendas de nueva construcción y no las ampliaciones o remodelaciones, ya que en estos dos últimos casos no se informa sobre la materialidad de la totalidad de las viviendas.



2.2 Caracterización de la envolvente

La caracterización de los paquetes constructivos de la envolvente se realiza mediante la aplicación de una encuesta digital dirigida a constructores profesionales de la ciudad de Loja, con un total de 19 respuestas entre ingenieros y arquitectos. El propósito de esta encuesta consiste en identificar los componentes, espesores y características de las cubiertas, paredes y pisos que constituyen las tipologías representativas previamente identificadas para determinar su transmitancia térmica.

El cálculo de transmitancia térmica se realiza de forma teórica a partir de la norma UNE-EN ISO 6946 [16]: Método de cálculo de resistencia térmica y transmitancia térmica, y según lo establecido en el Código técnico de la edificación para el Cálculo de parámetros característicos de la envolvente [17]. Para su cálculo, se ha identificado estudios en la literatura científica nacional para obtener información sobre la conductividad térmica de los materiales locales. En los materiales que no se ha encontrado información local se utiliza los datos proporcionados por la norma UNE ISO 10456 [18] y la NEC-HS-EE. (Tabla 1).

Tabla 1: Valores de conductividad térmica de materiales

Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/m K)
Bloque (Pichincha)	1676,48	0.312*
Hormigón a base de cemento	---	0.545*
Mortero a base de cemento	---	0.465*
Bloque hueco de piedra pómez	---	0.273*
Ladrillo común	---	0.80
Teja de arcilla	2000	1
Cerámica/ Porcelanato	2300	1.3
Acero (Steel)	7800	50
Zinc	7200	110
Gypsum	600	0.18
Piedra sedimentaria natural	2600	2.3
Suelo arena o grava	1700-2200	2.0

Nota: * Materiales con información local

2.3 Percepción de confort térmico interior

Para determinar la percepción de confort interior de los habitantes de la ciudad de Loja en cada una de las tipologías, se realizó el desarrollo y aplicación de encuestas dirigidas a la ciudadanía en general mediante medios digitales, ya que el presente estudio se desarrolló en el marco de la Pandemia de la COVID-19. La condición de aplicación fue que habiten en viviendas de tipología unifamiliar de 2 pisos, por ser la tipología predominante. Se obtuvieron 65 respuestas válidas de un total de 102 encuestas realizadas desde el 13 de enero del 2022 hasta el 01 de febrero del 2022. Con lo cual se obtuvo una tasa de respuesta del 63.70%.

En esta fase del estudio, se ha tomado en cuenta la temperatura exterior promedio, utilizando los datos registrados por la estación meteorológica de la UTP.

durante el periodo de aplicación de la encuesta, que abarca 7 días previos al registro, como lo recomienda la norma ASHRAE 55. De acuerdo con estos datos, se determina que la temperatura media exterior de los días en que se realizó el estudio es de 17.48°C.

La encuesta se estructuró en cuatro partes: la primera parte con preguntas relacionadas con el tipo de edificación, número de pisos y localidad para verificar el cumplimiento de las condiciones requeridas por el estudio; la segunda para obtener información general de la vivienda como su ubicación dentro de la ciudad, antigüedad de la edificación, tipo de implantación, materialidad, entre otros aspectos que inciden en el confort térmico; la tercera parte centrada en preguntas de percepción térmica. Las preguntas de percepción de confort estuvieron enfocadas para planta baja y planta alta, y tanto en el día como en la noche. Para ello, se usó el método de evaluación de viviendas existentes mediante encuestas a los habitantes siguiendo la norma ASHRAE 55, en donde se empleó la escala de sensación térmica de 7 puntos de Fanger, que va desde el 0 como una temperatura neutra hasta +3 muy caliente o -3 muy frío. Para su aplicación en la localidad de estudio, se han adaptado los términos para un mejor entendimiento.

La ASHRAE 55 [12] establece que el porcentaje de satisfechos en un espacio se encuentran en las escalas entre -1 y +1, es decir abarca los ocupantes que marcaron ligeramente caliente, ni caliente ni frío y ligeramente frío, debido a que se pueden realizar cambios de adaptación en los ocupantes (como la vestimenta o tomar algo caliente) o en el ambiente (como abrir o cerrar ventanas). A partir de ellos se establecen 2 rangos de aceptabilidad el primero entre 80% - 90% y el segundo rango mayor al 90%.

Por último, la cuarta parte se enfocó en recopilar información respecto a las estrategias pasivas a las que pueden optar para mejorar o adaptarse al ambiente interior, con la finalidad de realizar análisis complementarios.

3. RESULTADOS

3.1 Identificación de tipologías representativas

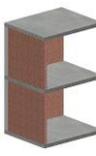
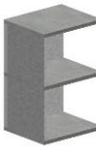
Se identifica que la tipología predominante corresponde a las edificaciones residenciales unifamiliares predominan en el parque residencial con el 67.38%. La diferencia se distribuye de manera equitativa entre viviendas para 2 familias y para 3 o más familias. De las viviendas unifamiliares, se evidenció que en su mayoría son de dos pisos con el 49.32%. Por tanto, se considera a la edificación unifamiliar de dos pisos como la predominante en el parque residencial de la ciudad de Loja, seguida de la vivienda de un piso con el 45.51%. Para el estudio se considera la vivienda de dos pisos y se analiza tanto la planta baja como la planta alta. Tomando en cuenta los materiales que se emplean comúnmente en este tipo de edificación se evidenció que el hormigón armado predomina en cimientos (94.32%), en estructura

(96.96%) y en la cubierta (78.6%). En las paredes predomina el uso de ladrillo (94.76%), seguido del bloque (5.24%).

Hasta el año 2019 no se registra el material de piso, por lo que este elemento de envolvente se determinará mediante la encuesta de caracterización que se indica en la sección 3.2. En cuanto a la forma de la cubierta, si bien predomina la cubierta plana de hormigón armado con el 78.6%, el 21,4% restante emplea cubierta inclinada con láminas metálicas (8.73%), fibrocemento (3.93%) y teja de arcilla u otros (8.30%).

En base a estos datos recopilados en la materialidad de la envolvente, se establecen cuatro tipologías de estudio que se muestran en la Tabla 2, todas con estructura de hormigón armado. La tipología T1 se conforma por paredes de ladrillo y cubierta de hormigón armado; la tipología T2 con paredes de ladrillo y cubierta de láminas metálicas; la tipología T3 con paredes de bloque y cubierta de hormigón armado; y la tipología T4 con paredes de bloque y cubierta de láminas metálicas.

Tabla 2: Tipologías según materiales de envolvente

		TIPOLOGÍA	TIPOLOGÍA T1	TIPOLOGÍA T2
MATERIAL	Estructura	Hormigón Armado		Hormigón Armado
	Paredes	Ladrillo		Ladrillo
	Cubierta	Losa de hormigón armado		Láminas metálicas
		TIPOLOGÍA	TIPOLOGÍA T3	TIPOLOGÍA T4
MATERIAL	Estructura	Hormigón Armado		Hormigón Armado
	Paredes	Bloque		Bloque
	Cubierta	Losa de hormigón armado		Láminas metálicas

3.2 Caracterización de la envolvente

Las respuestas obtenidas de la encuesta aplicada a constructores profesionales de la ciudad de Loja, permitió obtener información para la caracterización de cada paquete constructivo de las tipologías identificadas previamente. En el caso de paredes, se establece que el tipo de ladrillo predominante es el de obra macizo (89.47%), colocado mayormente de filo con un espesor de pared de 7 cm (78.95%) y en menor escala echado de 14 cm (21.05%).

Cuando las paredes perimetrales se conforman por bloques de cemento, se emplean los de 10 cm o 15 cm de espesor en igual proporción. Los materiales predominantes que se utilizan como recubrimiento exterior son mortero y pintura en un 68.42% de las veces, mientras que, en el interior en un 94.74%. Otras opciones de revestimiento para el exterior son los cerámicos (10.53%) y la piedra (5.26%). También se identificó que el 15.79% de los encuestados no emplea ningún tipo de revestimiento exterior.

Las cubiertas planas (losas de hormigón armado) son realizadas por los profesionales encuestados con losas alivianadas con casetones en un 42.11% y con losas alivianadas con bloque pómez en un 36.84%. Hacia el exterior el recubrimiento comúnmente empleado es el mortero con cerámico (36.84%) o con piedra (15.79%), no obstante, un alto porcentaje no emplea ningún tipo de recubrimiento o emplea solo mortero (47.37%). Hacia el interior se define predominantemente el uso de gypsum (52.63%); sin embargo, también se evidencia que los profesionales emplean únicamente mortero más pintura (26.32%). En menor medida se emplea la plancha de estuco (10.53%) o simplemente no se usa ningún tipo de revestimiento (10.53%).

En las cubiertas inclinadas se utilizan láminas metálicas simples con estructura metálica de 15 cm. Según el grupo de profesionales encuestados, la pendiente que comúnmente emplean en las edificaciones para la ciudad de Loja esta entre el 16% y 20 %. El recubrimiento predominante por el exterior es la teja cerámica con el 52.94%, mientras que, en la diferencia emplean las láminas metálicas sin algún tipo de recubrimiento. En cuanto al recubrimiento interior generalmente emplean planchas de gypsum (58.82%) o de estuco (17.65%).

Finalmente, el paquete constructivo del piso en planta baja está dominado por dos opciones. El primero conformado por material de mejoramiento con losa de hormigón (57.89%), y el segundo por un replantillo de piedra con loseta de hormigón (42.11%). En ambos casos se emplea losas de 7 cm (57.89%) o de 5cm (31.58%). En un bajo porcentaje (10.53%) el contrapiso está conformado por losas de 10 cm. El recubrimiento que más se aplica es el piso de cerámica (89.47%) y el piso flotante (10.53%).

A partir de la caracterización de los paquetes constructivos, se realiza el cálculo de la transmitancia térmica, usando los valores de conductividad térmica de la Tabla 1. Los resultados de los paquetes constructivos predominantes se muestran en la Tabla 3.

De ello se determina que la tipología T1, se valida el cumplimiento para la mayoría de los elementos de envolvente, a excepción de las paredes de ladrillo de 7 cm, que son las predominantes en la localidad.

En la tipología T2 los paquetes constructivos que no cumplen con el valor máximo son las paredes con ladrillos de 7 cm y la cubierta con láminas metálicas sin recubrimiento de teja.

En la tipología T3 todos los paquetes constructivos cumplen con los requisitos de la norma.

Y finalmente en la T4, al igual que en la tipología T2 no cumple la cubierta de láminas metálicas sin recubrimiento exterior.

3.3 Percepción de confort térmico interior

De las encuestas de percepción se pudo receptar respuestas de habitantes de cinco parroquias urbanas: Carigán (6.15%), El Sagrario (15.38%), El Valle (26.15%), Punzara (26.15%) y San Sebastián (26.15%). La información recopilada muestra que el 69.23% de las viviendas están ocupadas entre 3 y 5 personas. Además,

se ha establecido que el 96.98% de las viviendas incluidas en el estudio tienen una antigüedad de hasta 30 años, distribuidas de la siguiente manera: hasta 10 años el 32.31%, hasta los 20 años el 40.00% y hasta los 30 años el 24.62%. En cuanto al tipo de implantación, se identificaron cuatro condiciones diferentes: Aisladas (9.23%), pareadas (23.08%), continuas o adosadas (52.31%) y sobre línea de fábrica (15.38%).

Tabla 3: Caracterización de la envolvente predominante en la construcción de viviendas en la ciudad de Loja, cálculo de transmitancia térmica y cumplimiento de la NEC-HS-EE

Envolvente	Opción	Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Resistencia térmica total	Valor U (W/m² K)	Cumplimiento NEC-HS-EE
Paredes	1	Mortero (enlucido)	20	0.465	0.35	2.83	NO
		Ladrillo de obra	70	0.72			
		Mortero (enlucido)	20	0.465			
	2	Mortero (enlucido)	20	0.465	0.45	2.22	SI
		Ladrillo de obra	140	0.72			
		Mortero (enlucido)	20	0.465			
	3	Mortero (enlucido)	20	0.465	0.58	1.74	SI
		Bloque de concreto	100	0.312			
		Mortero (enlucido)	20	0.465			
	4	Mortero (enlucido)	20	0.465	0.74	1.36	SI
		Bloque de concreto	150	0.312			
		Mortero (enlucido)	20	0.465			
Cubierta	1	Cerámico	9	1.3	0.63*	1.58	SI
		Mortero	10	0.465			
		Hormigón	50	0.545			
		Casetones + Hormigón	150	1.067			
		Cámara de aire	50	0.545			
		Plancha de gypsum	6.4	0.18			
	2	Cerámico	9	1.3	0.92*	1.08	SI
		Mortero	10	0.465			
		Hormigón	50	0.545			
		Bloque pómez + Hormigón	150	0.273			
		Cámara de aire	50	0.545			
		Plancha de gypsum	6.4	0.16			
	3	Teja de arcilla	7	1	0.35	2.89	SI
		Láminas metálicas	0.25	110			
		Estructura metálica	150	50			
		Cámara de aire	20%				
		Plancha de gypsum	6.4	0.18			
		Hormigón	50	0.545			
	4	Casetones + Hormigón	150	1.067	0.61*	1.65	SI
		Cámara de aire	50	0.545			
		Cámara de aire	50	0.16			
		Plancha de gypsum	6.4	0.18			
		Hormigón	50	0.545			
		Bloque pómez + Hormigón	150	0.273			
5	Cámara de aire	50	0.545	0.90*	1.11	SI	
	Plancha de gypsum	6.4	0.16				
	Plancha de gypsum	6.4	0.18				
	Láminas metálicas	0.25	110				
	Estructura metálica	150	50				
	Cámara de aire	20%					
6	Plancha de gypsum	6.4	0.18	0.34	2.95	NO	
	Láminas metálicas	0.25	110				
	Estructura metálica	150	50				
	Cámara de aire	20%					
	Plancha de gypsum	6.4	0.18				
	Hormigón	50	0.545				
Piso Planta Baja	1	Cerámico	9	1.3	0.42	2.38	SI
		Losa de hormigón	70	0.545			
		Material de mejoramiento	150	2			
	2	Cerámico	9	1.3	0.41	2.44	SI
		Loseta de hormigón	70	0.545			
		Replanteo de piedra	150	2.3			

* Representa la resistencia térmica total, calculada mediante el método de cálculo aplicado para un elemento de edificación constituido por capas homogéneas y heterogéneas

Con relación a los materiales de construcción las viviendas encuestadas son principalmente de ladrillo (87.69%) y bloque (10.77%). Se identificaron viviendas

con paredes de tierra en un porcentaje muy bajo (1.54%). En cuanto a la cubierta las viviendas son de losa de hormigón armado en un 69.23%, láminas metálicas



(21.54%) y de teja (9.23%). De las viviendas que cuentan con cubierta inclinada se identificó que el 64.71% tienen cielo raso falso a nivel, el 23.53% cuenta con un cielo raso que sigue la pendiente de la cubierta, el 5.88% cuenta con un espacio habitable o buhardilla y el 5.88% no tiene cielo raso falso. Con relación a la materialidad del piso de la planta baja, se encontró que el 60% de las viviendas son de cerámica sobre losa de hormigón, el 33.85% de madera sobre losa de hormigón y un 6.15% son de tierra estabilizada.

A partir de estos resultados se clasificaron los casos estudios según las tipologías definidas obteniendo mayor número para la tipología T1, 40 casos, tipología T2, 12 casos y para la tipología T3 y T4, con un registro de pocos casos, 4 y 2 respectivamente.

Para proceder con los análisis de la percepción térmica se ha tomado las tipologías identificadas en el paso 1 y se asocia con la información faltante obtenida en los pasos 2 y 3.

En la Fig. 2 se analiza los resultados obtenidos de sensación térmica de cada tipología aplicando la escala de 7 puntos de Fanger. En la parte superior se analizan los datos de planta baja, en la parte inferior los de planta alta, en la izquierda durante el día y en la derecha durante la noche.

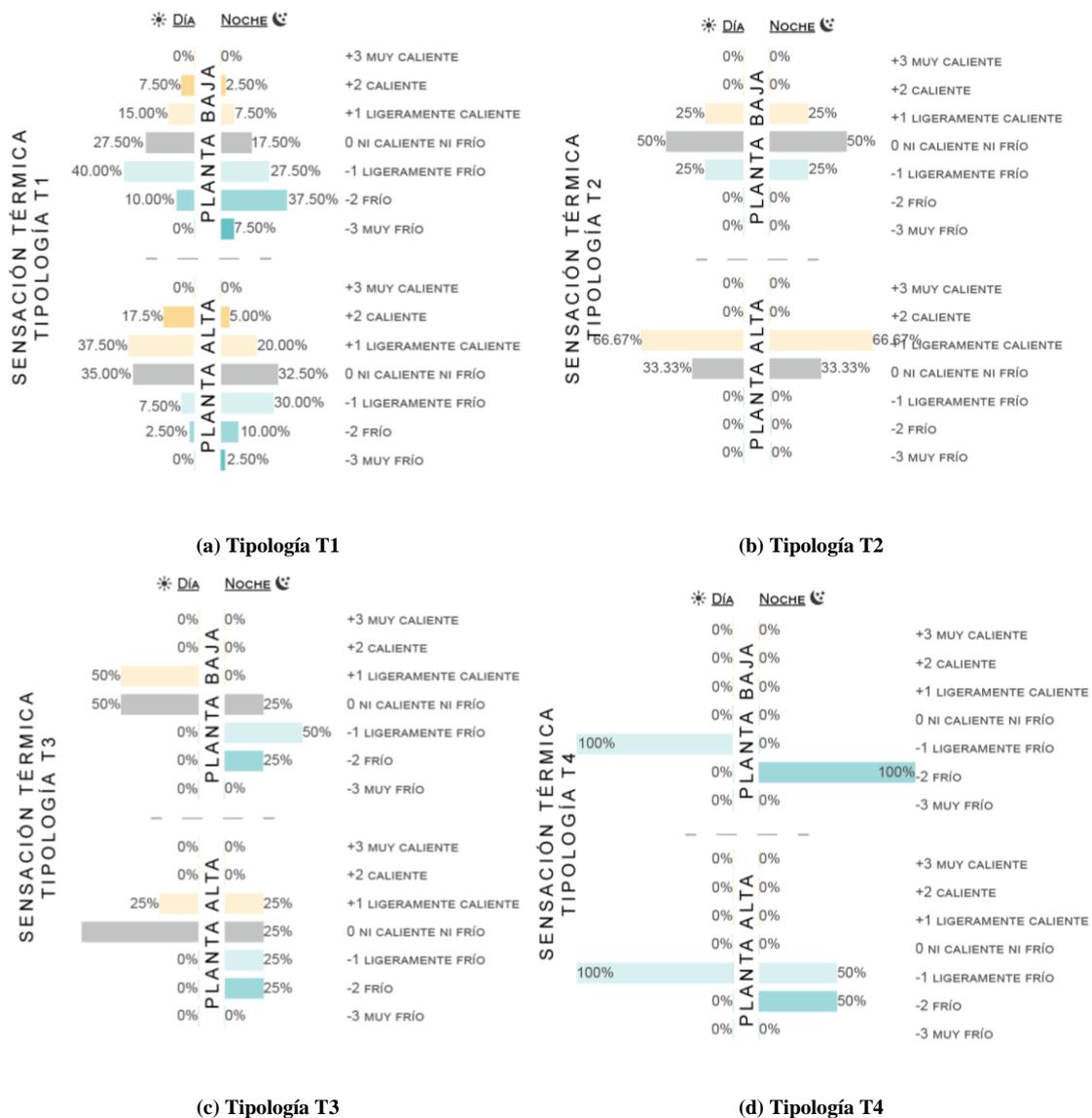


Figura 2: Resultados obtenidos de sensación térmica según escala de Fanger

De ello, podemos determinar que en la tipología T1, la planta baja es percibida por la mayoría de los ocupantes como ligeramente frío y frío tanto en el día como en la noche respectivamente, mientras que, en planta alta para más de la mitad de los ocupantes se encuentra en confort o ligeramente caliente. En la tipología T2 se puede observar que en planta baja la mitad de los ocupantes se encuentra en confort durante el día y la noche; mientras que, en la planta alta esto cambia a ligeramente caliente.

En la tipología T3, en la planta baja, durante el día el espacio se percibe en confort o ligeramente caliente, mientras en la noche cambia a ligeramente frío. En planta alta durante el día se percibe en confort para gran parte de los ocupantes, mientras que, en la noche la mitad de los ocupantes se encuentran en confort o ligeramente caliente y la otra mitad consideran que los espacios son ligeramente fríos o fríos. Finalmente, la tipología T4 tanto en planta baja como en alta se siente ligeramente frío o frío tanto en el día como en la noche.

De forma general los espacios de planta baja de todas las tipologías se perciben como espacios más fríos que planta alta (a excepción de la T2), siendo aún menor en la noche que en el día, esto puede deberse a la forma de implantación, y a que en la localidad es común que en planta baja se desarrolle el área social, con espacios abiertos y mayor superficie de vitrales.

Por lo tanto, en la Tabla 4 los valores que se encuentran en rojo no cumplen con el porcentaje de satisfacción requerido, es decir un valor mayor al 80% de aceptabilidad. Esto es las tipologías T1, T3 Y T4 en planta baja durante la noche, y las tipologías T3 y T4 en planta alta durante la noche. La tipología que presenta mayor porcentaje de ocupantes satisfechos es la T2.

Tabla 4: Porcentaje de ocupantes satisfechos según tipología de vivienda

Tipología	Envolvente	Materiales de Construcción	Planta Baja		Planta Alta	
			Día	Noche	Día	Noche
T1	Pared	Ladrillo	82.50%	52.50%	80%	82.50%
	Cubierta	Hormigón Armado				
	Piso	Loseta de hormigón				
T2	Pared	Ladrillo	100%	100%	100%	91.67%
	Cubierta	Láminas metálicas (con cielo raso a nivel)				
	Piso	Loseta de hormigón				
T3	Pared	Bloque	100%	75%	100%	75%
	Cubierta	Hormigón Armado				
	Piso	Loseta de hormigón				
T4	Pared	Bloque	100%	0%	100%	50%
	Cubierta	Láminas metálicas (con cielo raso a nivel)				
	Piso	Loseta de hormigón				

De acuerdo con la información acerca de las preferencias de los ocupantes para sus espacios, las tipologías T1, T2 Y T3 no requieren cambio en asoleamiento y temperatura, mientras que la T4 sí. Con respecto a la humedad todas las tipologías requieren menor humedad al interior de las viviendas. Cabe destacar que la tipología T1 y T3 indican haber realizado cambios anteriormente para mejorar el ambiente interior como sellar ventanas para reducir las infiltraciones, cambiar el piso, usar alfombras en las habitaciones y construir una cubierta sobre la terraza.

3.4 Relación de la norma NEC-HS-EE con la Percepción de Confort Interior de las Viviendas

Luego del análisis de resultados de las encuestas, se realiza la validación de la Norma NEC-HS-EE, relacionando los paquetes constructivos de cada tipología con la aceptabilidad que presentan en los ocupantes y verificando si el valor establecido (Fig.1) permite alcanzar el confort interior en la ciudad de Loja.

A partir de los valores máximos de transmitancia térmica proporcionados por la norma NEC-HS-EE se establece si los paquetes constructivos de cada tipología cumplen o no con este requisito. Además, se verifica el rango de aceptabilidad de los ocupantes en el interior de estas viviendas según las respuestas de los casos analizados.

En la Tabla 5, se determina que para la tipología T1, los ocupantes se encuentran satisfechos con el confort del espacio tanto en planta baja como en planta alta dentro de un rango de aceptabilidad del 80% al 90%. Sin embargo, durante la noche en planta baja el porcentaje es menor a 80%. Las causas de este desconfort no se han definido en el estudio, más puede ser por el uso de materiales de piso como cerámica o porcelanato y mayores áreas de cristal, mientras en áreas de planta alta es común el uso de madera o piso flotante.

De acuerdo con las respuestas obtenidas para la tipología T2, los habitantes se encuentran satisfechos con el confort del espacio tanto en el día como en la noche, tanto en planta baja como en planta alta, convirtiéndose en el tipo de vivienda con mejor confort interior. Esto puede ser a causa de que las viviendas analizadas en su mayoría cuentan con cielo raso, lo que permite evitar las pérdidas de calor nocturnas.

En el caso de las tipologías T3 y T4 todos los paquetes constructivos analizados cumplen con el valor U máximo, más en la noche se encuentran en desconfort tanto en planta baja como en planta alta con una aceptabilidad menor al 80%.

Se evidencia que todas las tipologías cumplen con los requisitos prescriptivos de la Norma NEC-HS-EE y dotan de un ambiente de confort interno a los habitantes durante el día, más en la noche al bajar la temperatura esta situación cambia, en este caso los ocupantes pueden



tomar medidas para modificar estas condiciones y alcanzar el confort interior en sus viviendas. Es recomendable analizar otros aspectos como la implantación, orientación, superficies acristaladas, entre otros que permitan obtener otros aspectos por los que las viviendas pueden encontrarse en disconfort.

Tabla 5: Relación de Cumplimiento de NEC-HS-EE y porcentaje de satisfacción del ambiente interior

Tipología	Elemento	Cumple NEC-HS-EE	Porcentaje de ocupantes satisfechos										
			Planta Baja				Planta Alta						
			Día		Noche		Día		Noche				
			>90%	90%-80%	<80%	>90%	90%-80%	<80%	>90%	90%-80%	<80%		
Tipología T1	Paredes	●*											
	Piso	●	●										
	Techo	●											
Tipología T2	Paredes	●*											
	Piso	●	●		●			●			●		
	Techo	●*											
Tipología T3	Paredes	●											
	Piso	●	●				●	●					●
	Techo	●											
Tipología T4	Paredes	●											
	Piso	●	●				●	●					●
	Techo	●*											

*Se presenta una variación en el paquete constructivo que no cumple con el valor U máximo

4. DISCUSIÓN

La cantidad de casos analizados por cada tipología concuerdan con la información estadística, de tal forma que en la mayoría de casos corresponden a la tipología T1 y T2, con 40 y 12 casos respectivamente. Por otro lado, de la tipología T3 y T4 se cuenta con 4 y 2 casos, por lo que sus resultados no son concluyentes, más han servido para tener indicios del comportamiento de su envolvente.

Los paquetes constructivos de la tipología T1 cumplen con los requerimientos de la NEC-HS-EE, excepto las paredes de ladrillo de 7 cm, que es la respuesta predominante de espesor de ladrillo usado en la construcción de viviendas unifamiliares, razón por la cual puede verse afectada la sensación térmica interior de este tipo de viviendas.

Se puede evidenciar que las respuestas de la tipología T2 presentan mayor número de habitantes satisfechos, mayor al 90%, tanto en planta baja y en planta alta, durante el día y durante la noche. En este caso se analiza, que las viviendas cuentan con un cielo raso a nivel por lo que se crea un espacio de cámara de aire sin ventilar, el cual puede ser la razón por la que se presenten estos resultados. En cuanto a los materiales que conforman esta tipología, las paredes de ladrillo con espesor de 7 cm y

cuando la cubierta de láminas metálicas no se encuentra con recubrimiento de teja, no cumplen con los requerimientos de la NEC-HS-EE.

En estas dos tipologías se ha identificado que la pared de ladrillo puede variar de 7 cm a 15 cm generando una variación significativa en la capacidad de aislar por lo que su variación en la transmitancia térmica es indiscutible, esto influye directamente en la percepción del confort de las viviendas, de acuerdo con [19] quien determina que, a mayor resistencia térmica, y por lo tanto menor transmitancia térmica, es mejor el comportamiento de la envolvente.

Existen otros factores; además, de la transmitancia térmica que influyen en la temperatura interior, acorde con el estudio realizado por [20] y [21] que son la masa térmica, la orientación de la edificación y el color de las superficies exteriores, más la transmitancia térmica es uno de los principales para estimar el adecuado material de envolvente.

En la localidad no se coloca un aislamiento térmico en las paredes por lo que la diferencia de temperatura exterior, especialmente en horas de la noche, afecta directamente el confort térmico de los habitantes en concordancia con [21], por lo que no puede incrementarse de esta forma tanto la transmitancia térmica y evitar los cambios drásticos de temperatura, ya que el 70% de intercambio de calor ocurre a través de las paredes y ventanas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la ciudad de Loja, que tiene como principal propósito de construcción las residencias unifamiliares es posible alcanzar el confort interior mediante la aplicación de estrategias de confort pasivas como ganancias de calor interno y calefacción solar pasiva mediante alta masa térmica; además, de una correcta selección de materiales de construcción, por lo que la elección de materiales de envolvente es fundamental.

La percepción térmica de cada una de las tipologías analizadas mediante la escala de sensación térmica de 7 puntos de Fanger, determina que las viviendas de la ciudad de Loja presentan mayor insatisfacción en la planta baja durante la noche. Se puede concluir que la tipología con mejor confort térmico es la tipología T2 seguido por la tipología T1. Las tipologías T3 y T4, no son concluyentes debido que se cuenta con pocos casos de estudio, por lo que los resultados solo representan indicios de lo que sucede.

La tipología T2, presenta la mejor sensación térmica de las personas encuestadas, su material de paredes al igual que el tipo T1 es el ladrillo y cuenta con cubierta inclinada, la mayoría de los casos cuenta con cielo raso a nivel y recubrimiento exterior, por lo que crea una cámara de aire, lo que resulta beneficioso en esta tipología permitiendo a los usuarios sentirse en confort tanto en planta alta y baja, durante el día y la noche.



La construcción de las paredes de ladrillo de 7 cm puede ser la causa de la insatisfacción de las viviendas, principalmente de las tipologías T1 y T2, por lo que es importante al momento de construir tomar en consideración el cumplimiento de la transmitancia térmica.

Uno de los parámetros que son importantes de analizar es la influencia de la implantación ya que de ello depende la superficie de la envolvente expuesta de forma directa a las condiciones exteriores.

Los paquetes constructivos de la envolvente de las edificaciones residenciales permiten evidenciar que las viviendas cumplen con el valor U establecidos por la norma nacional NEC-HS-EE en su mayoría, más al momento de alcanzar los niveles de satisfacción de sus ocupantes al interior se demuestra que presentan aceptabilidad durante el día, pero en la noche en planta baja este porcentaje de satisfacción disminuye y tiene una sensación de un ambiente más frío. Por lo que consideramos que, si la exigencia para la envolvente en la zona climática trabajada fuera mayor, ayudaría a mejorar la estabilidad térmica en el interior de las edificaciones.

Se recomienda hacer énfasis en la determinación de las propiedades térmicas de forma local de los materiales que conforman los paquetes constructivos ya que estas pueden diferir ampliamente de la bibliografía y con ello los valores de transmitancia térmica.

La temperatura promedio de los días en que se realizaron las encuestas de sensación térmica fue 17,48°, en el mes de febrero, por lo que los resultados pueden variar al considerar otras épocas del año, por ejemplo, en los meses entre junio y agosto que son los más fríos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CNELEP, “1. Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035,” 2016, [Online]. Available: https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICA_Amaqueta-final-digital.pdf.
- [2] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), “Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales NEC-HS-EE,” p. 40, 2018, [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>.
- [3] K. Gaudry et al., “Normativas de energía en edificaciones como estrategia de mitigación al cambio climático Contribution of energy building codes in residential buildings as a mitigation strategy to climate change,” vol. 11, no. 18, pp. 180–197, 2019, [Online]. Available: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/articloe/view/1285/1419>.

- [4] W. Natephra, N. Yabuki, and T. Fukuda, “Optimizing the evaluation of building envelope design for thermal performance using a BIM-based overall thermal transfer value calculation,” *Build. Environ.*, vol. 136, no. March, pp. 128–145, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.03.032.
- [5] Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo en el Real Decreto, NBE-CT-79: Normas Básicas de la Edificación, Condiciones Térmicas en los edificios, no. september 2016. 1979, pp. 1–6.
- [6] C. Henríquez and H. Romero, *Urban climates in Latin America*. 2019.
- [7] H. Romero, C. Vallejo-Coral, M. López, and J. Gómez, “Evaluación de materiales de cambio de fase en zonas climáticas del Ecuador,” *Memorias del Congr. I+D+i 2019*, vol. 1, no. 1, 2020, [Online]. Available: <https://geolatitud.geoinvestigacion.gob.ec/ojs/ojs/index.php/congreso-idi/article/view/75>.
- [8] A. Gallardo, M. Palme, A. Lobato-Cordero, R. D. Beltrán, and G. Gaona, “Evaluating thermal comfort in a naturally conditioned office in a temperate climate zone,” *Buildings*, vol. 6, no. 3, pp. 1–20, 2016, doi: 10.3390/buildings6030027.
- [9] F. Quesada Molina and D. Bustillos Yaguana, “Indoor environmental quality of urban residential buildings in Cuenca-Ecuador: Comfort standard,” *Buildings*, vol. 8, no. 90, 2018, doi: 10.3390/buildings8070090.
- [10] Asociación Española para la Normalización y Certificación., *UNE-EN ISO 7730. Ergonomía del ambiente térmico: Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y criterios de bienestar térmico local*. 2006.
- [11] Asociación Española para la Normalización y Certificación., *UNE-EN 15251: Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido*. 2008.
- [12] I. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *ASHRAE 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, no. ANSI/ASHRAE Standard 55-2020. 2020.
- [13] 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,” no. December, 2017, doi: 10.26868/25222708.2017.354.



- [14] MIDUVI, Climatización NEC-HS-CL, vol. 53, no. 9. 2019, pp. 1689–1699.
- [15] I. N. de E. y C. INEC, “Boletín Técnico Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED), 2019,” Boletín Técnico N° 01-2017-GAD Munic., vol. N°01-2020, 2019, [Online]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin_tecnico.pdf.
- [16] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN-ISO 9646 Componentes y elementos para la edificación - Resistencia térmica y transmitancia térmica - Método de cálculo,” 2021. [Online]. Available: www.inn.cl.
- [17] Ministerio de Transporte Movilidad y Agenda Urbana, “Cálculo de parámetros característicos de la envolvente,” 2020. [Online]. Available: https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA_DB-HE-1_Calculo_de_parametros_caracteristicos_de_la_envolvente.pdf.
- [18] Asociación Española para la Normalización y Certificación., UNE-EN ISO 10456: Materiales y productos para la edificación Propiedades higrotérmicas Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño. 2012, pp. 6–8.
- [19] F. Ascione, N. Bianco, R. F. De Masi, G. M. Mauro, and G. P. Vanoli, “Design of the building envelope: A novel multi-objective approach for the optimization of energy performance and thermal comfort,” *Sustain.*, vol. 7, no. 8, pp. 10809–10836, 2015, doi: 10.3390/su70810809.
- [20] V. Cheng, E. Ng, and B. Givoni, “Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate,” *Sol. Energy*, vol. 78, no. 4 SPEC. ISS., pp. 528–534, 2005, doi: 10.1016/j.solener.2004.05.005.
- [21] M. Iranfar and S. S. M. Al-Din, “The cognition of the architectural styles role on thermal performance in houses of semi-arid climates: Analysis of building envelope materials,” *Civ. Eng. Archit.*, vol. 8, no. 5, pp. 929–941, 2020, doi: 10.13189/cea.2020.080520.



Karina Tituana Tituana. - Nació en Loja, Ecuador en 1993. Recibió su título de Arquitecta de la Universidad de Cuenca en 2017; de Máster en Técnicas Constructivas para Edificaciones Sostenibles de la Universidad Técnica Particular de Loja en 2022. Ha realizado investigación en el campo de Documentación del Patrimonio y actualmente se encuentra en libre ejercicio profesional enfocado en la construcción de edificaciones.



Vanessa Guillén Mena. - Nació en Cuenca, Ecuador en 1987. Recibió su título de Arquitecta de la Universidad de Cuenca en 2012, de Máster en Investigación en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Edificación y Urbanismo de la Universidad del País Vasco en 2013. Actualmente, se encuentra cursando sus estudios de Doctorado en la Universidad del País Vasco, España. Su campo de investigación se encuentra relacionado con los aspectos energéticos y de confort térmico a escala de edificación y urbano.