



ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONFORT TÉRMICO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LSF FRENTE A MAMPOSTERÍA

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL COMFORT OF A SINGLE-FAMILY HOUSE IN LSF AND BRICK MASONRY

Rodrigo Brito-Peña^{1,*} , Daniel Villa-Enderica¹ , Esteban Zalamea-León¹ 

Recibido: 16-05-2022, Recibido tras revisión: 17-06-2022, Aceptado: 20-06-2022, Publicado: 01-07-2022

Resumen

La construcción residencial en Ecuador ha crecido un 35,6 %. El sistema constructivo típico para envolvente de viviendas es de bloque de concreto o de ladrillo, la construcción en LSF (*Light Steel Framing*) o marcos de acero galvanizado (LSF) está en surgimiento. Para solucionar la demanda habitacional se evalúa el confort interior térmico de una de vivienda unifamiliar de dos plantas en la ciudad de Cuenca con ambos sistemas constructivos para conocer los estándares de confort que ofrecen las viviendas en concordancia con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). La investigación se realizó con Design Builder y Therm donde se analizan los parámetros que influyen en el desempeño energético de las viviendas. Con las condiciones locales, el sistema predominante alcanza valores de confort térmico horario anual del 51 %, pero el sistema LSF alcanza un 62 %. Sin embargo, con estrategias de mejoramiento en la globalidad de la envolvente, el LSF alcanza el 86 %. Las variables en orden de mayor a menor influencia térmica resultaron: infiltraciones de aire, sistema constructivo de la envolvente e implantación de la vivienda. En Cuenca es posible el uso del LSF con aislamiento mínimo para alcanzar niveles aceptables de confort, siendo una alternativa adecuada a promover para edificar viviendas unifamiliares.

Palabras clave: vivienda, *steel frame*, confort térmico, simulación

Abstract

Residential construction in Ecuador has recently grown by 35.6%. The typical construction system for housing envelopes is concrete block or brick, construction in LSF, Light Steel Framing or galvanized steel frames (LSF,) is emerging. To solve the housing demand, the thermal interior comfort of a two-story single-family home in the city of Cuenca is evaluated with both construction systems to know the comfort standards offered by homes in accordance with the Ecuadorian Construction Standard. (NEC). The research was carried out with Design Builder and Therm where the parameters that influence the energy performance of homes are analyzed. Under local conditions, the predominant system reaches annual hourly thermal comfort values of 51%, but the LSF system reaches 62%. However, with improvement strategies in the overall envelope, the LSF reaches 86%. The variables in order from greater to lesser thermal influence resulted: Air infiltrations, construction system of the envelope and implantation of the house. In Cuenca it is feasible to use the LSF with minimum insulation to reach acceptable levels of comfort, being an adequate alternative to promote to build single-family homes.

Keywords: Housing, Light Steel Framing, Thermal comfort, Simulation

^{1,*}Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca, Universidad de Cuenca, Ecuador.
Autor para correspondencia ✉: jrodrigo.brito@ucuenca.edu.ec.

Forma sugerida de citación: Brito-Peña, R.; Villa-Enderica, D. y Zalamea-León, E. "Análisis comparativo de confort térmico de vivienda unifamiliar en LSF frente a mampostería," *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, N.º 28, pp. 100-124, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.10>.

1. Introducción

Para cada contexto particular es importante establecer análisis comparativos de diferentes tecnologías constructivas para establecer capacidades en cuanto a seguridad, durabilidad, calidad, confort térmico, entre otros aspectos. Se ha evidenciado que el comportamiento térmico de sistemas constructivos en seco como *Lightweight Steel Framing* (LSF) pueden alcanzar condiciones similares a los de mampostería [1] y se puede definir niveles de aislamiento apropiado para el contexto.

De acuerdo con el Instituto Americano de Arquitectos (AIA, 2007), el 50 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero fueron producidas por la industria de la construcción. En gran parte como consecuencia del alto consumo de las edificaciones y falta de confort en las mismas. Se genera impacto desde la fabricación, transporte, ejecución, uso y mantenimiento de la edificación hasta el fin de su ciclo funcional [2]. Asimismo, la construcción se ubica como la segunda industria con mayor demanda energética en el mundo siendo en gran parte del consumo para lograr calidad ambiental interior [3, 4]. Por lo tanto,

es importante determinar la aptitud de los materiales de construcción para lograr calidad en confort térmico con alto grado de eficiencia constructiva [5, 6]. En Ecuador, en los últimos quince años, el sector de la construcción ha crecido un 35,6 % debido al desarrollo económico y poblacional. En 2018 del total de permisos de construcción, el 84,1 % corresponde a residencias, el 56,9 % corresponde a viviendas unifamiliares, y el 88,1 % son viviendas nuevas.

Los materiales predominantes para vivienda en Ecuador son hormigón armado para cimentaciones, estructura y cubiertas, mampostería de bloque de concreto o ladrillo para paredes y cerramientos, estructuradas en acero por velocidad constructiva. La introducción de sistemas constructivos alternativos es mínima, y se toma muy poco en cuenta afectaciones que devienen de la materialidad seleccionada. La vivienda de construcción en seco tipo LSF apenas tiene una cuota del 2,9 % en el Ecuador [7] como se observa en la Figura 1 [7]. Los sistemas que permiten prefabricación son una oportunidad para reducir el costo en la construcción, pero también deben considerarse niveles de confort [8].

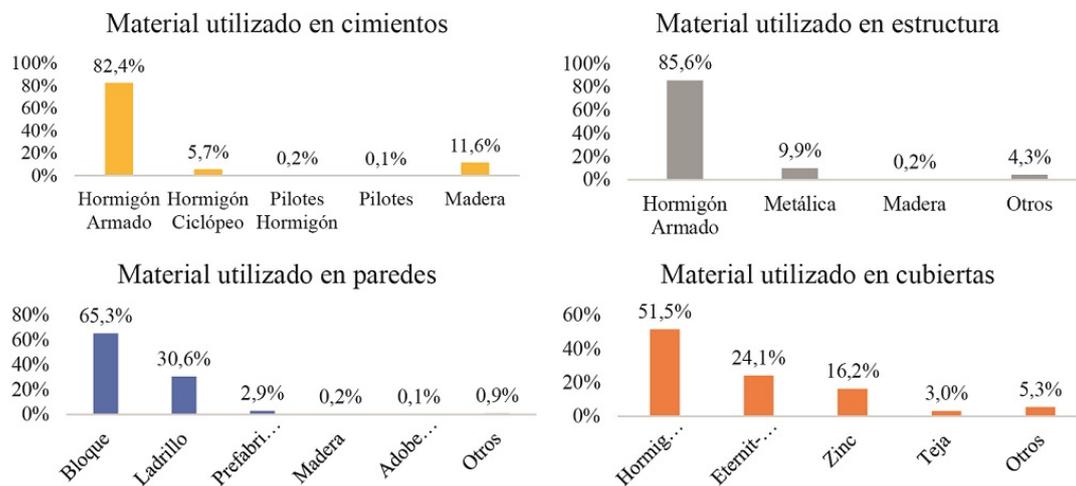


Figura 1. Materiales principales que predominan en la construcción en Ecuador

La implementación del sistema en seco LSF puede resultar menos ofensiva con el ambiente y ofrece grandes ventajas en comparación con sistemas tradicionales húmedos en cuanto a impacto *in situ* [9]. Diversas ventajas constructivas son propias de este sistema como la potencial prefabricación y rapidez, durabilidad, capacidad sismorresistente precios convenientes, entre otras [10]. El LSF posee buen desempeño térmico dado que se puede incluir el aislamiento requerido y calibrado acorde con las condiciones locales, tiene la capacidad de alcanzar altos niveles de aislación térmica inclusive en climas extremos [11, 12].

Además, el principal déficit en cuanto a la capacidad térmica en el LSF según [13] y [9], está en los puentes térmicos como consecuencia de los marcos estructurales de acero liviano que no deben estar separados más de 0,60 m entre ellos. En capacidad estructural, el LSF posee condiciones apropiadas por la menor rigidez y peso, lo que implica que la respuesta sísmica sea adecuada en regiones de alta sismicidad como lo es la zona andina [14, 15]. Así mismo, responde favorablemente a cargas accidentales [16].

En materia de seguridad ante incendios, el LSF es recomendable por encima de otras tecnologías no ignífugas [17]. Al mismo tiempo, es capaz de integrar todos los componentes necesarios para construir una edificación. Los métodos de construcción son de fabricación en obra, por paneles prefabricados y, finalmente, la construcción modular [18]. El LSF tiende a ser más costoso en comparación a viviendas de mamposterías típicas en Ecuador por la reducida penetración del material. No obstante, por las ventajas de industrialización y economía de mercado puede resultar en un sistema conveniente [19]. Se reduce el costo de mano de obra entre un 62,5 % a un 73 %, mejor gestión de insumos y operaciones y logística en los sitios de construcción [20]. En Ecuador, el déficit de vivienda sumado a la difícil situación económica provoca que se produzcan edificaciones de bajo presupuesto con materiales artesanales que hacen que las viviendas no cumplan los niveles adecuados de confort térmico, por lo tanto, las nuevas edificaciones deben cumplir los estándares de la NEC [21].

1.1. Condiciones climáticas del entorno de la vivienda de estudio

Ecuador se divide en seis zonas climáticas en concordancia con lo establecido por la ASHRAE 90.1 y

Miduvi [22]. La vivienda de referencia se encuentra emplazada en la zona climática 3 del Ecuador, determinada como Región Sierra-continental lluviosa. En la Figura 2 se observa un diagrama de las condiciones climáticas 3). La zona está muy próxima a la línea ecuatorial a una altitud de 2550 m s. n. m., por estas condiciones es un clima templado y estable durante el año. La temperatura varía entre promedios máximo y mínimo de 7 y 25 °C, no obstante, se registran máximos extremos de -1,7 °C y de 28,9 °C; el promedio es de 15,6 °C. El mes más caluroso es marzo y el más frío es agosto, pero con condiciones extremas de frío o calor que no perduran normalmente por más de algunas horas. Por las condiciones de ecuatorialidad, las variaciones climáticas estacionales son mínimas. La duración del día también es estable durante el año, siendo el amanecer entre las 05:50 y 06:30 y el atardecer entre las 18:05 y 18:35, dependiendo de la época. La ventosidad es baja y con preponderancia desde el noreste. En consecuencia, se trata de un clima templado con mayor incidencia de enfriamiento excesivo, pero con clima benigno para la habitabilidad, la mayoría de edificaciones carece de sistemas de acondicionamiento activo. Sin embargo, este aspecto implica que sean habituales momentos fuera de confort.

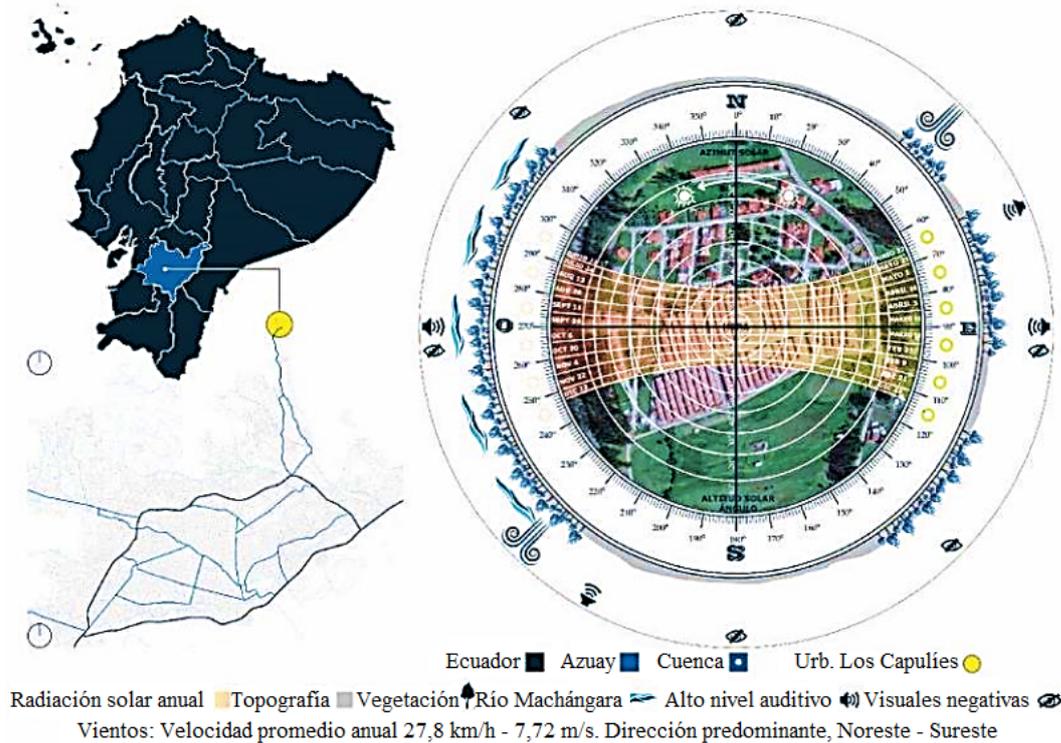


Figura 2. Ubicación y esquema de las condiciones climáticas del entorno

Se analizará una vivienda de características espaciales y morfológicas recurrente en el país, con el sistema constructivo más utilizado de mampostería y hormigón habitual con el objetivo de determinar las condiciones ambientales base. A partir de ello comparar con variaciones en concordancia con el cambio de envolvente en sistema constructivo LSF. Para este fin se programan simulaciones para contrastar el comportamiento térmico de la misma vivienda materializada con dos sistemas constructivos y envolventes distintos, sistema LSF frente al sistema tradicional, suponiendo las mismas condiciones funcionales y espaciales. Se analiza el modelo de vivienda unifamiliar tipo II emplazada en la urbanización Los Capulíes,

ubicada en Cuenca, emprendimiento desarrollado por el Ministerio de Vivienda del Ecuador (Miduvi). La disposición de esta tipología de viviendas en muy alta densidad, pareada por dos costados para lograr un máximo aprovechamiento del terreno. La distancia entre los frentes de las viviendas es de apenas cinco metros y con retiro posterior de tres metros. Esta disposición reduce la incidencia solar, además de problemas de visualidades y privacidad. En la Figura 3 (basada en documentos de la Emuvi EP) se aprecia la configuración de las viviendas. Si bien tiene aspectos de condiciones de diseño, en este trabajo se analiza la incidencia de la materialidad de la envolvente.

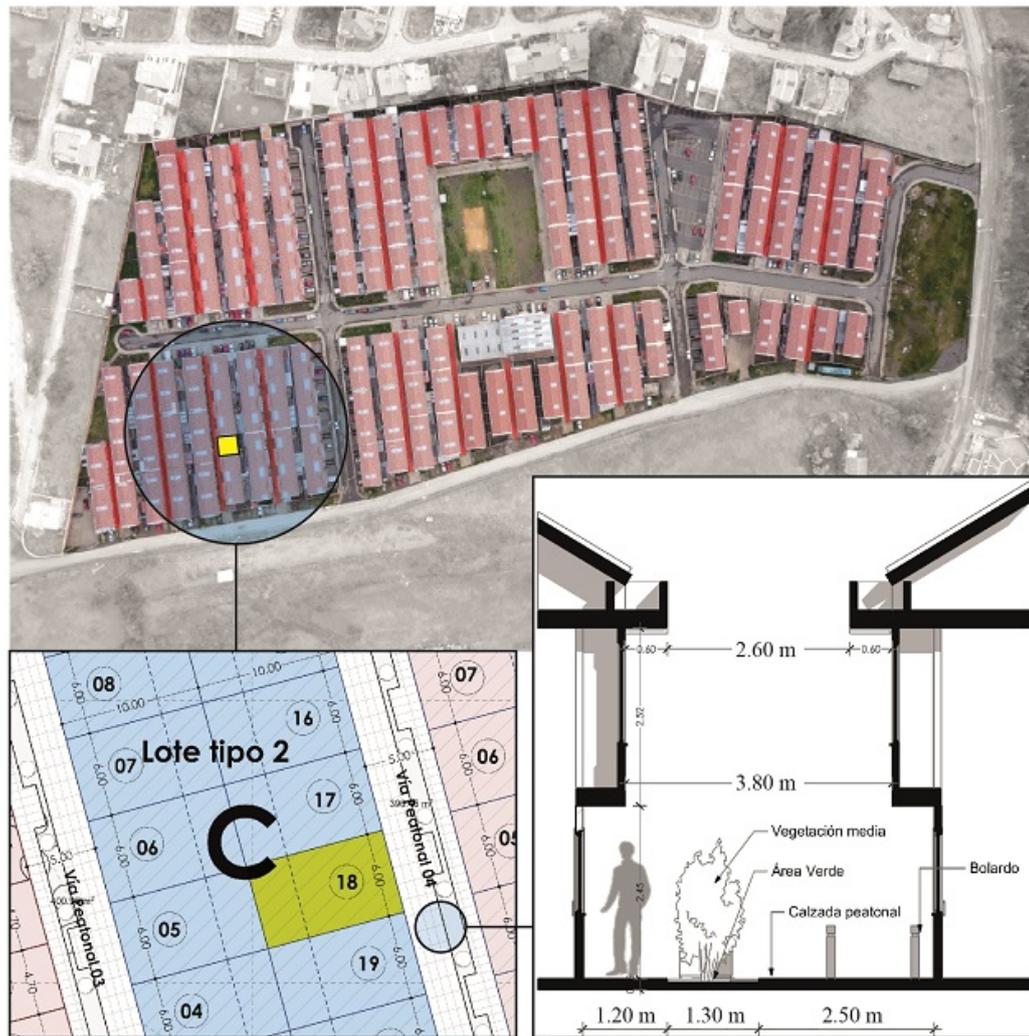


Figura 3. Vivienda de estudio junto a las demás dentro de la urbanización Los Capulíes

2. Materiales y métodos

En primera instancia, se establecieron los parámetros y características que influyen en el rendimiento energético y se analizan respecto a los niveles de confort térmico de la normativa que manda que la tempera-

tura interior debe mantenerse entre 18 y 26 °C [23]; considerando que excesos o déficit, se estaría fuera del rango de confort térmico. Con este precedente, se determinó los siguientes parámetros para el estudio del rendimiento energético:

Implantación. Se determina por la posición de la vivienda dentro de la manzana, conformando una vivienda esquinera, medianera y aislada. *Clima.* Se determina mediante archivo climatológico en la región de Cuenca. *Ganancias térmicas internas.* Se refiere a la cantidad de energía que aportan los aparatos eléctricos y los usuarios en materia de calor dentro de la vivienda. *Infiltraciones de aire.* Se hace referencia a los intercambios de aire por hora a una presión de 50 Pa, es decir, a los niveles de renovación de aire dentro de una vivienda. Estos parámetros se estudiarán en tres variaciones de la misma vivienda de acuerdo con la ubicación dentro de la manzana: aislada, medianera y esquinera.

Para el análisis se construyeron ochenta y cinco modelos desde variaciones virtuales de materialidad. Se considera a la temperatura operativa interior (TO) como la variable para los análisis de resultados, la temperatura exterior, bulbo seco (TE) representa únicamente a la temperatura que afecta a la envolvente de la vivienda y permite reflejar el nivel de acondicionamiento alcanzado por la vivienda. En cuanto a los niveles de infiltraciones de este tipo de estructuras, dado que no existen estudios locales, se toman indicadores encontrados en Chile [24]. En envolvente de mampostería se esperan niveles menores de infiltraciones de aire (10 ACH50) en comparación a los 25 ACH50 esperado en el LSF. Sin embargo, el LSF cuando se construye con mayor aislamiento, materiales de mejor comportamiento térmico y la calidad constructiva es alta, con énfasis en las juntas constructivas, los intercambios de aire disminuyen [25].

En una segunda instancia, se hicieron los modelos digitales de la vivienda unifamiliar a estudiar en dos grupos. Para el primer grupo se modelaron las configuraciones y materialidad recurrentes para la región, es decir, el sistema tradicional húmedo. En el segundo grupo se realizaron los modelos con el sistema LSF. Finalmente, en una tercera instancia se procedió al análisis del confort interior térmico de los dos sistemas constructivos.

Se estudiaron los modelos virtuales con los simuladores energéticos Design Builder [26] y Therm [27], alimentados por información climática de la zona de estudio del 2016. No se utilizó el archivo climático (.tmy) (clima promedio típico) porque ello implica que se pierdan días y horas con temperaturas extremas, por ello se emplean datos climáticos de un año (2016) en fichero epw.

La evaluación se realizó por etapas secuenciales por la interacción de diversos factores que intervienen en el confort interior térmico. La primera etapa busca determinar la incidencia de orientación, aspecto difuso en el clima ecuatorial. Previo al análisis de confort térmico de la vivienda, en la segunda etapa con Design Builder se plantea determinar el rendimiento energético de la vivienda con LSF sin incluir aislamiento térmico. El modelo es alimentado por coeficientes de envolvente desde análisis térmico desde la materialidad realizado en Therm, herramienta que permite determinar a detalle la capacidad aislante, considerando afectaciones que implica puentes térmicos. En la tercera etapa se busca conocer si existen mejoras en los niveles térmicos con aislamientos mínimos en el sistema LSF.

Finalmente, en la cuarta etapa, se busca mejorar los materiales utilizados en el sistema LSF a fin de conocer si el incremento térmico es significativo por lo que se utiliza nuevamente la herramienta Therm para analizar las configuraciones de las diferentes carpinterías.

La frecuencia de horas fuera de confort (FDT, por sus siglas en inglés) es el porcentaje de tiempo en el cual la temperatura operativa no alcanza los estándares requeridos [28]. Por lo tanto, en esta investigación, los resultados se analizarán porcentualmente referidos a un año en sus 8760 horas respectivas. Asimismo, en la instancia final, se establecerán los parámetros o variables de mayor a menor incidencia en el rendimiento térmico de la vivienda.

2.1. Características y materialidad originales de las viviendas de estudio

La vivienda de referencia es unifamiliar de dos plantas de 86,40 m², acorde con el INEC, una tipología recurrente en el país. Se trata de una vivienda de tamaño y condición promedio para albergar cuatro habitantes. La vivienda está materializada con estructura de acero, paredes de mampostería de ladrillo para la envolvente, únicamente con revoque hacia el interior y cubierta de fibrocemento con cielo falso de yeso paralelo al fibrocemento. El piso y entepiso es de hormigón con revestimiento porcelánico en áreas húmedas y piso flotante en ambientes secos. Finalmente, las carpinterías son de acero con vidrio simple. Con estas condiciones se simula la calidad térmica interior como base comparativa, en la Figura 4 se observa la vivienda de referencia.



Figura 4. Estado actual de la vivienda de estudio en 2020

La propuesta en LSF adopta las mismas condiciones del modelo base. Las dimensiones estructurales son provistas por el departamento de ingeniería de la empresa distribuidora local. Los componentes recomendados son los siguientes: Perfiles Stud (montantes) $90 \times 0,93$ mm en paredes y cerchas, Track (soleiras) de $90 \times 0,93$ mm en paredes y cerchas, Stud $200 \times 1,8$ mm en entrepiso y Track $200 \times 1,8$ mm en entrepiso. Sin embargo, la utilización y configu-

ración de las capas de aislamiento y materiales de revestimiento no están determinadas en función del rendimiento térmico debido al uso mínimo de esta tecnología a nivel nacional. Tanto los proveedores como los consumidores eligen los componentes y materiales basándose en diversos criterios para construir la vivienda. En la Figura 5 se muestran los planos de la vivienda adaptada al LSF.

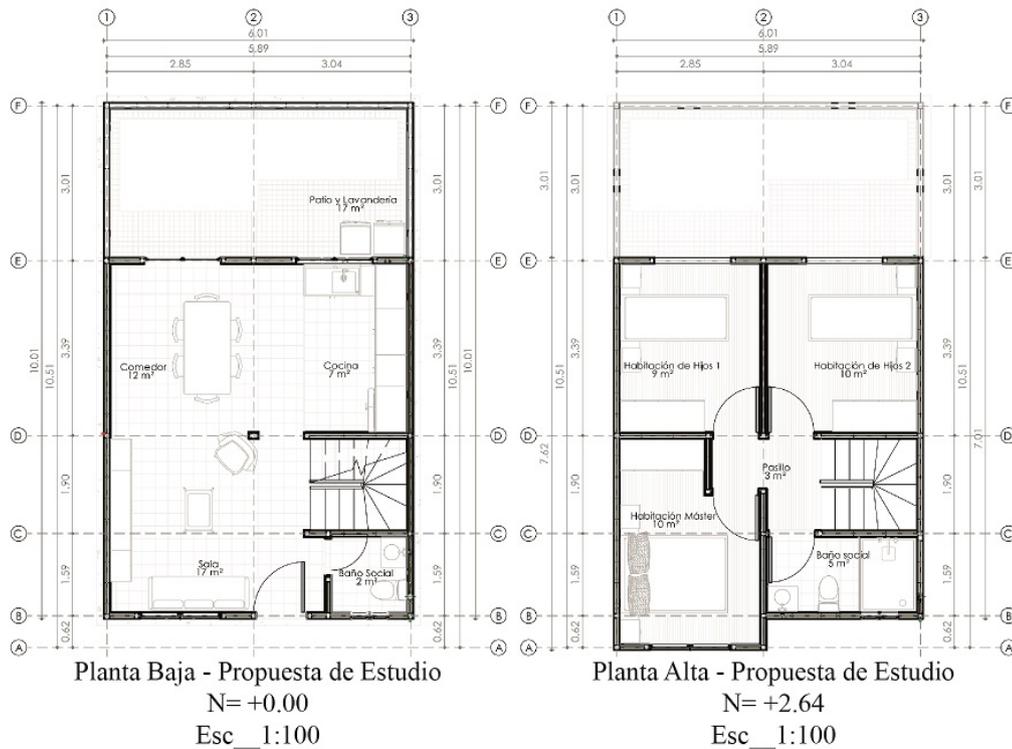


Figura 5. Propuesta materializada con LSF

2.2. Condiciones generales para el estudio del confort interior térmico

Se identifican los aspectos y características de la envolvente como datos de entrada para el análisis de confort

interior térmico y se establecen los parámetros para la evaluación digital categorizados en seis grupos (Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones y parámetros generales

N.º	Parámetro	Código	Variables	Descripción de variable	Observaciones
1		V01	V. ladrillo medianera	Estado actual	Medianera
2		V02	V. ladrillo esquina	Estado actual	Esquinera
3	Tipología de vivienda	V03	V. ladrillo aislada	Estado actual	Aislada
4		V04	V. LSF medianera	Propuesta	Medianera
5		V05	V. LSF esquina	Propuesta	Esquinera
6		V06	V. LSF aislada	Propuesta	Aislada
7	Implantación	I01	Fachada actual este	Orientación de fachada principal	Estado actual
8		I02	Fachada actual oeste	Orientación de fachada principal	Estado actual
9		I03	Fachada norte	Orientación de fachada principal	Norte
10		I04	Fachada sur	Orientación de fachada principal	Sur
11		I05	Fachada este	Orientación de fachada principal	Este
12		I06	Fachada oeste	Orientación de fachada principal	Oeste
13	Clima	C01	Anual	Promedio anual	Promedio
14		C02	Mes más frío	Promedio mensual	Promedio
15		C03	Mes más cálido	Promedio mensual	Promedio
16		C04	Día más frío	Día anual más frío	Todo el día
17		C05	Día más cálido	Día anual más caliente	Todo el día
18	Ganancias internas	GI1	Usuarios	3.7	Promedio [29]
19		GI2	Aparatos y equipos	13.31 W/m ²	W/m ²
20	Infiltraciones de aire del sistema constructivo	SC1	10 en todas las etapas	Sistema mixto de ladrillo y acero	Fuente: [30]
21	(Niveles ACH a 50 Pa)	SC2	25 en la etapa 1 y 2, 10 en la etapa 3 y 7 en la etapa 4.	Sistema LSF	Fuente: [30]

3. Resultados y discusión

3.1. Primera etapa: Desempeño térmico base de la vivienda de referencia, estado actual

En la primera etapa se realizan veinte modelos digitales divididos en dos grupos según el sistema constructivo. El primer grupo analiza el sistema mixto de ladrillo en

estructura de acero de las viviendas en su implantación actual como situación base, el segundo grupo se enfoca al LSF. En la Tabla 2 se describen a detalle los parámetros de evaluación para todas las simulaciones, considerando niveles de infiltraciones en recambios de aire por hora (ACH) a 50 Pa de presión, bajo distintas orientaciones de la fachada frontal de acceso de la vivienda.

Tabla 2. Parámetro de variación en primera etapa

N.º	Sistema constructivo		Tipología de vivienda	Implantación	
	Tipo	Características			
E1_01	Sistema mixto de ladrillo y acero	Vivienda tradicional de mampostería	Medianera	Este	
E1_02				Oeste	
E1_03	10 ACH50		Esquinera	Este	
E1_04				Oeste	
E1_05				Norte	
E1_06			Aislada	Sur	
E1_07				Este	
E1_08				Oeste	
E1_09	Sistema LSF	Vivienda con LSF sin aislamiento	Medianera	Norte	
E1_10				Sur	
E1_11			25 ACH50	Esquinera	Este
E1_12					Oeste
E1_13					Norte
E1_14				Aislada	Sur
E1_15					Este
E1_16					Oeste
E1_17			25 ACH50	Aislada	Norte
E1_18					Sur
E1_19					Este
E1_20					Oeste

Los modelos con las orientaciones de las fachadas frontales y posteriores con las aperturas principales, puertas y ventanas se consideran como favorables cuando enfrentan al este y oeste (mayor incidencia solar) y desfavorables norte y sur (mínima incidencia de irradiación como consecuencia de la latitud ecuatorial). En la Figura 2 se demuestra la orientación predo-

minante de los vientos. Se encuentra que la variación térmica promedio es mínima por orientación como se observa en la Figura 6. Para la siguiente etapa se estudiará solamente con escenarios con las orientaciones desfavorables para visualizar los resultados en las temperaturas más extremas.

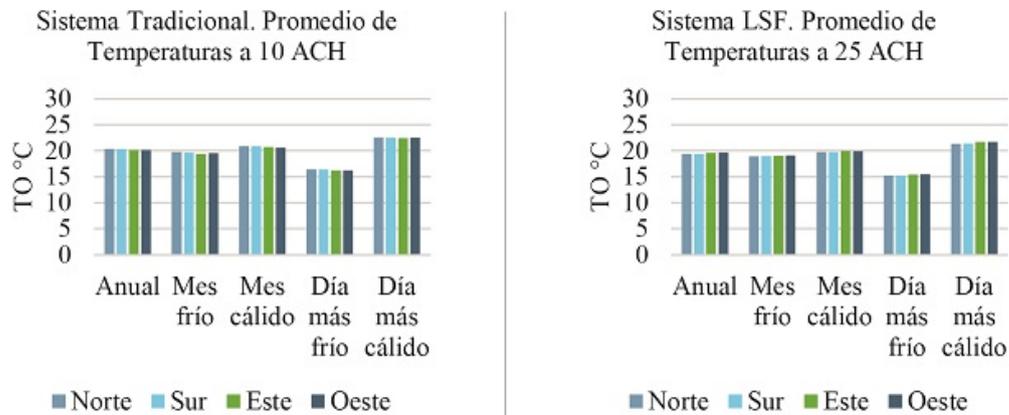


Figura 6. TO promedio en función del parámetro Implantación

3.1.1. Análisis del desempeño térmico de los sistemas constructivos a través de la sección de la envolvente mediante THERM

En este apartado se analiza la transmitancia térmica de cada material de la envolvente de los sistemas constructivos de estudio. Al sistema tradicional se le agrega los perfiles de acero que componen la estructura de toda la vivienda, mismos que quedan expuestos en

el modelo original. Asimismo, al LSF se lo considera con aislamiento sencillo de lana de roca de una sola capa con un espesor de 50 mm, con lo que queda una capa de aire remanente de 40 mm en la sección de la envolvente. La variable de estudio es la influencia de la estructura metálica en cada sistema constructivo. Se encuentra la influencia de los puentes térmicos en las viviendas. Se hacen los análisis en los casos más desfavorables de cada orientación como se observa en la Figura 7.

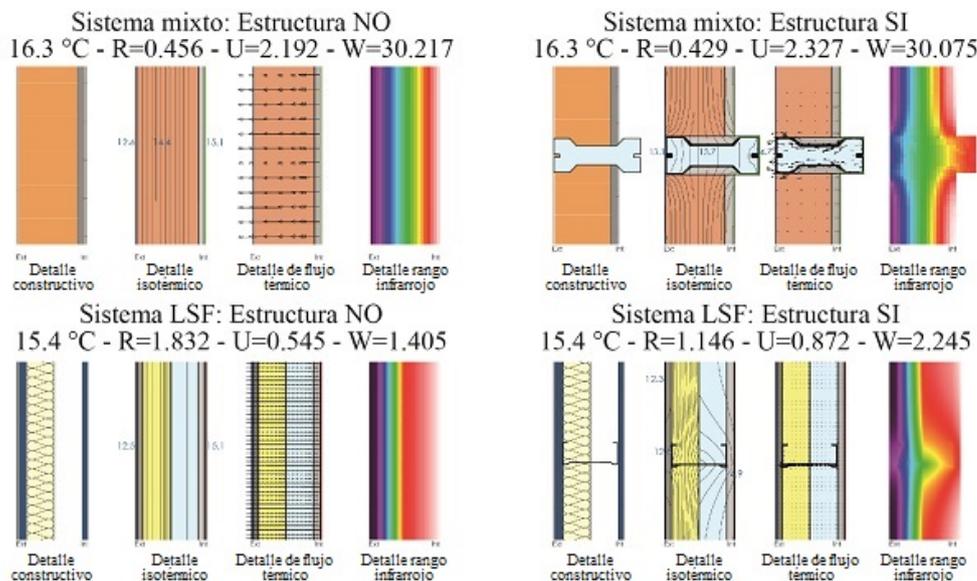


Figura 7. Análisis térmico de la sección de ambos sistemas constructivos en Therm y conductividad determinada

En todas las paredes de la envolvente se evidencia la transmitancia térmica en valores altos, los puentes térmicos son importantes en ambos sistemas constructivos, lo cual influye significativamente en la capacidad de aislamiento. En el sistema constructivo mixto de ladrillo en pórticos de acero se observan valores de

transmitancia térmica más altos en las zonas que concurren los elementos estructurales. No obstante, en el LSF, la transmitancia térmica se reparte y se mitiga por el revestimiento de fibrocemento y yeso-cartón.

3.2. Segunda etapa: Análisis térmico con incidencia de los puentes térmicos en orientaciones desfavorables

En esta etapa (Tabla 3) se configura nuevamente los modelos digitales en Design Builder ingresando en el simulador los nuevos valores del parámetro *Resistencia*

térmica o *Factor R* de cada material, valores reducidos a un 67,78 % del valor original de acuerdo con el estudio mediante Therm. Para este apartado se analizan nuevamente las viviendas con la condición del parámetro *Implantación*, en este caso referido a las orientaciones más desfavorables, es decir, sin incidencia solar directa en fachadas.

Tabla 3. Segunda etapa

N.º	Sistema constructivo		Tipología de vivienda	Orientación de fachada
	Tipo	Características		
E2_01	Sistema mixto de ladrillo y acero		Medianera	Norte
E2_02				Sur
E2_03	10 ACH50	Vivienda tradicional de mampostería	Esquinera	Norte
E2_04				Sur
E2_05				Norte
E2_06				Sur
E2_07	Sistema LSF		Medianera	Norte
E2_08				Sur
E2_09	25 ACH50	Vivienda con LSF sin aislamiento	Esquinera	Norte
E2_10				Sur
E2_11				Norte
E2_12				Sur

Con envolvente de ladrillo y acero, en el caso del día más frío la vivienda entra en confort únicamente al mediodía, mientras que, en el caso del día más cálido el confort se da en la mañana y en la tarde. Se observa un importante pico en temperaturas altas al mediodía.

En consecuencia, la vivienda sufre sobrecalentamiento, ya que no disponen de aislamiento en la cubierta y sobrecalentamiento en segunda planta como se observa en la Figura 8.

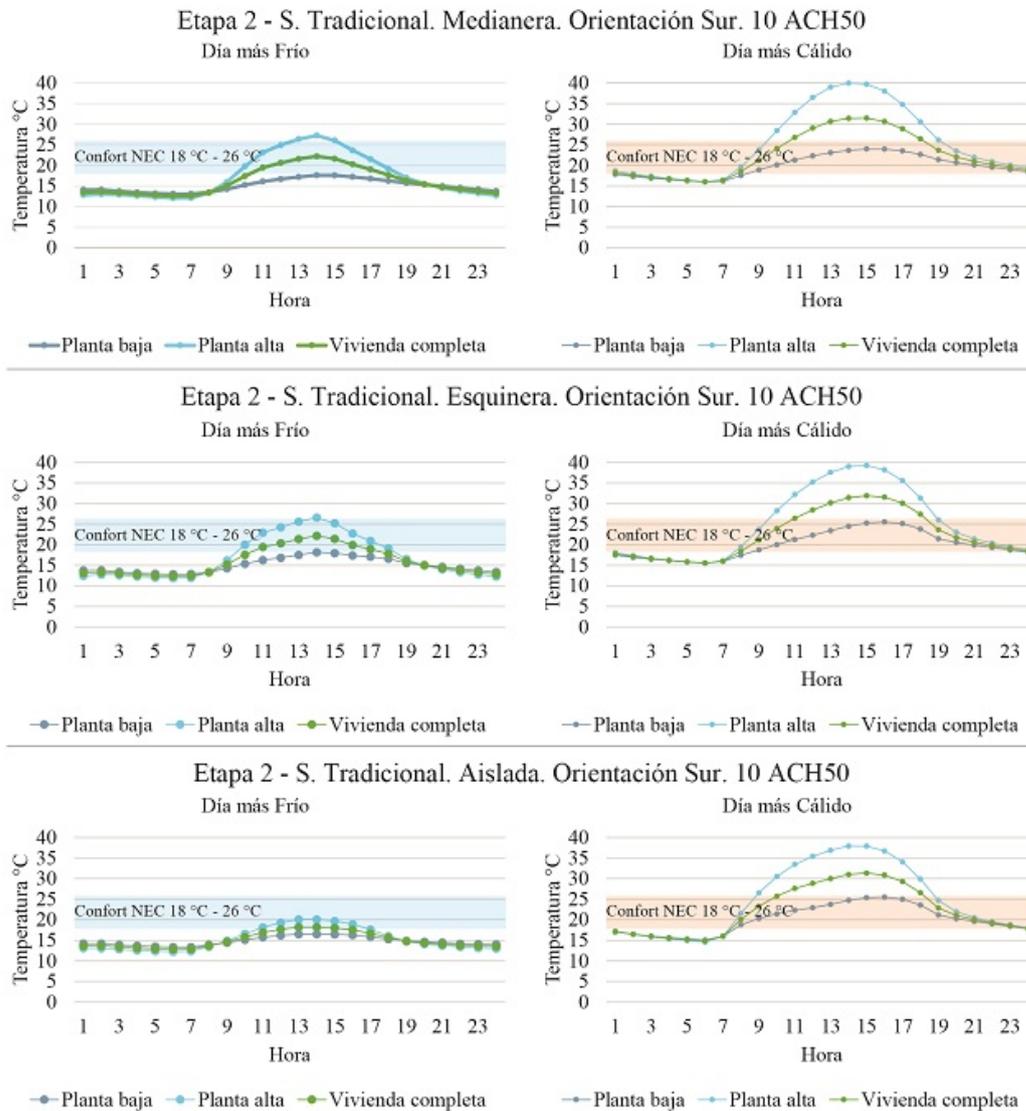


Figura 8. Comparativa térmica, sistema tradicional, segunda etapa

En el LSF, en el día más frío, existe confort luego del mediodía. Sin embargo, en el día más cálido el confort se extiende casi todo el día. Se observa que la curva térmica tiende a reducir la oscilación durante

las 24 horas del día. Los picos máximos y mínimos son menos pronunciados que el sistema de referencia como se observa en la Figura 9. En la Figura 10 se muestra la comparación térmica general de la segunda etapa.

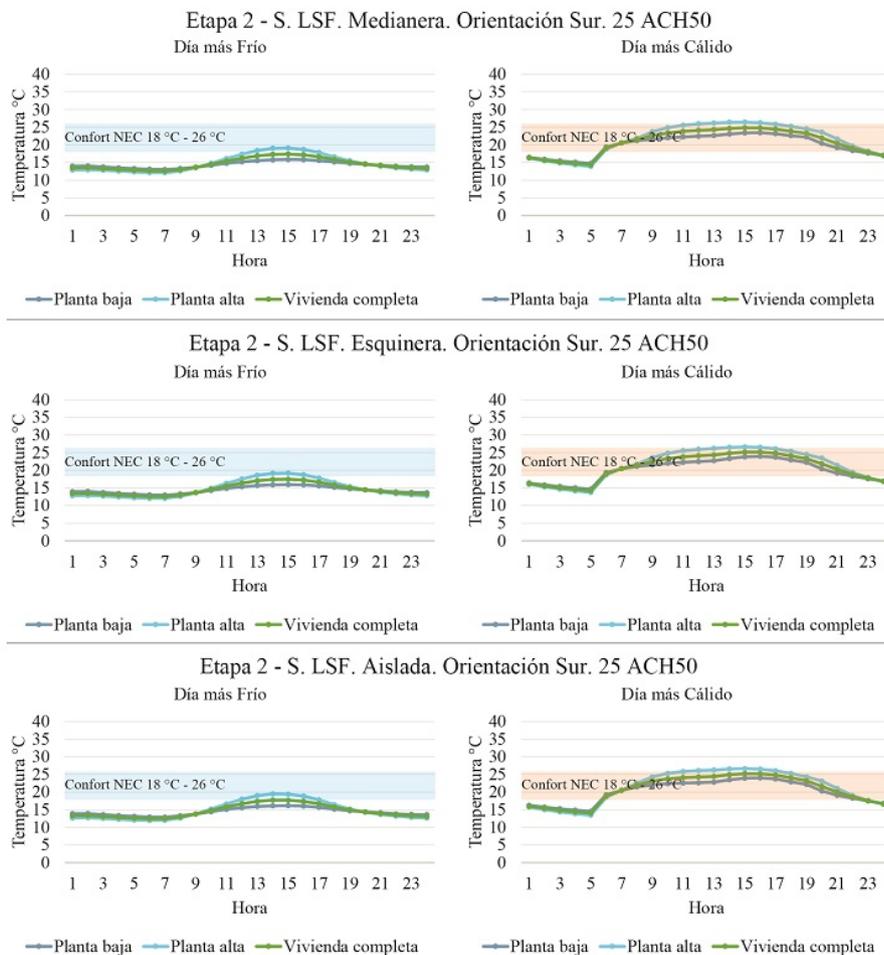


Figura 9. Comparativa térmica, sistema LSF, segunda etapa

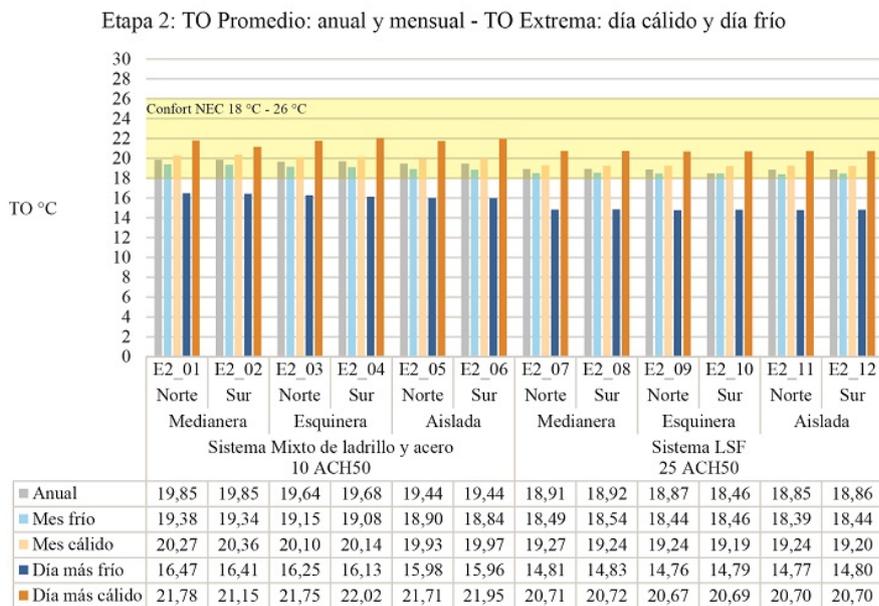


Figura 10. Comparativa térmica general de la segunda etapa

3.2.1. Análisis de las diferentes inclusiones de aislamiento térmico en las viviendas con LSF

Para las características climáticas de la Región Andina del Ecuador se utiliza en el análisis del LSF

la tipología «pared fría» [9] como se observa en la Figura 11 (basado en [9]). Esta tipología de pared con el aislamiento hacia la cara interna retiene mejor el calor en el interior de acuerdo con el análisis con Therm. Además, es la más sencilla y económica.

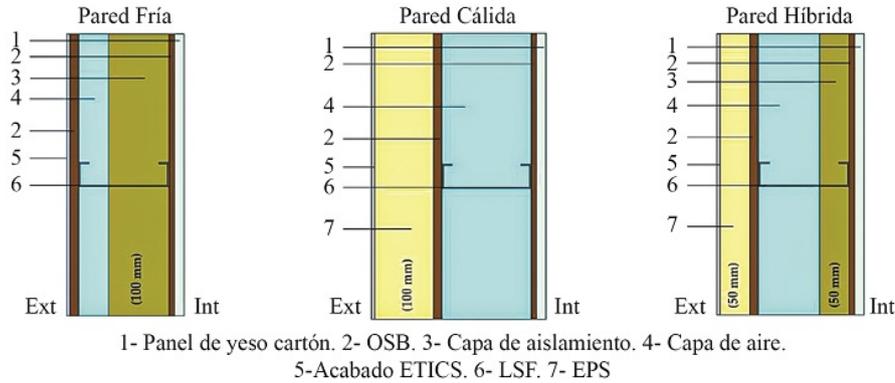


Figura 11. Tipologías de pared: cálida, fría e híbrida

Se analiza también la incidencia de las infiltraciones estimada para la tipología constructiva, que acorde con el sistema constructivo se ha considerado un ACH50 de 25, a partir de ello desempeño térmico de la vivienda consecuente. La vivienda base (A01) muestra el peor desempeño en promedio. Los casos A02 y A03 (A03, aislamiento interior recomendado por condiciones acústicas) resultan similares. Sin embargo, la vivienda A03 debido a una mejor configuración de las superficies aisladas térmicamente de manera más uniforme en la envolvente, implica una vivienda más hermética. La cámara de aire que se produce entre la cubierta y el cielo falso de la planta alta brinda mejores resultados

respecto a la configuración base, considerando que estas viviendas actualmente no se construyen con cielo falso y, menos aún, con aislamiento, siendo habitual el sobrecalentamiento en los momentos de presencia de irradiación directa ecuatorial, así como las pérdidas térmicas importantes en las noches. Los casos A04 y A05 se observan son críticos respecto a los anteriores. Esto significa que el aislamiento en la cubierta en mayor medida y menor medida en el suelo es necesario. Los resultados se contabilizan de las 24 horas del día, únicamente a todas las horas que alcanzan el rango de confort NEC (18 y 26 °C) como se observa en la Figura 12.

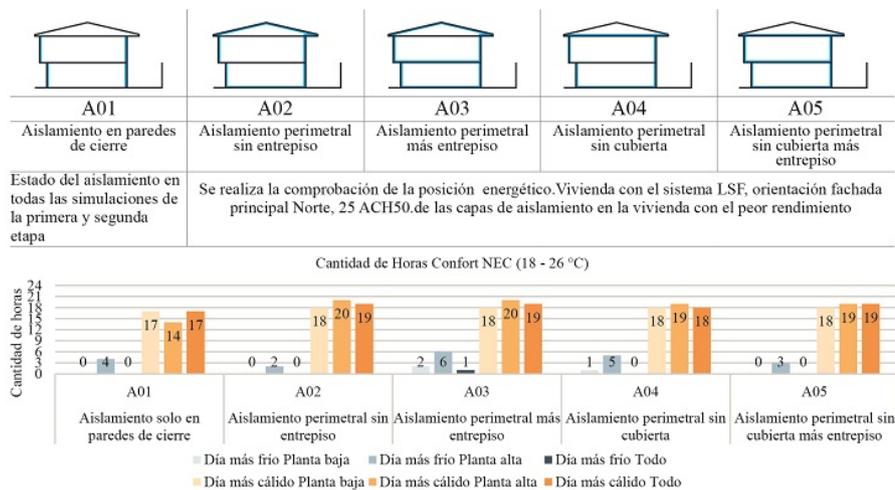


Figura 12. Tipos de aislamiento y rendimiento energético en número de horas confort

3.2.2. Análisis del rendimiento energético de las diferentes configuraciones de carpinterías mediante Therm

Se analizan también puentes térmicos en las carpinterías, en la Tabla 4 se presentan los casos a estudiarse. Simulando únicamente los paneles de vidrio sin la influencia de una carpintería, la capacidad de aislamiento

del panel de vidrio doble (C14) es consistentemente más elevada en comparación al panel de vidrio simple (C13). Por lo tanto, una ventana con vidrio doble y cámara de aire es una mejora. En cuanto a materiales de la carpintería, la madera o PVC son alternativas adecuadas con buenas características aislantes como se observa en la Figura 13.

Tabla 4. Simulaciones de carpinterías

N.º	Tipo	Material	Condición climática	Configuración de paneles de vidrio	Observaciones
C01	Ventana	Aluminio	Día caliente	simple	Corrediza.
C02			Día frío	doble	Perfiles
C03			Día caliente	simple	comerciales
C04			Día frío	doble	estándar
C05	Ventana	Madera	Día caliente	simple	Corrediza.
C06			Día frío	doble	Carpintería
C07			Día caliente	simple	artesanal
C08			Día frío	doble	
C09	Ventana	PVC	Día caliente	simple	Corrediza.
C10			Día frío	doble	Perfiles
C11			Día caliente	simple	comerciales
C12			Día frío	doble	estándar
C13	Ninguna	Vidrio	Indiferente	simple	Exclusivo, paneles de vidrio
C14				doble	
C15	Puerta	Madera	Día caliente	simple	Puerta con hoja simple de madera MDF
C16			Día frío	simple	
C17	Puerta	Acero	Día caliente	simple	Puerta con hoja simple de chapa de acero
C18			Día frío	simple	

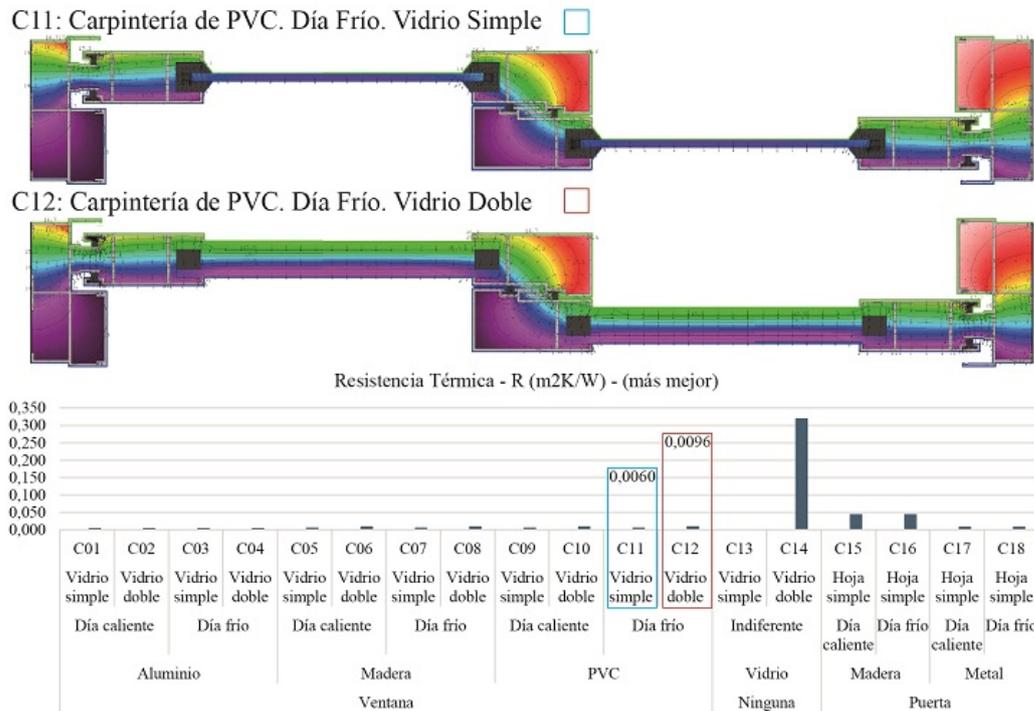


Figura 13. Resultados de carpinterías en día de extremo frío

3.3. Tercera etapa: Análisis térmico de vivienda en materialidad tradicional frente a vivienda con LSF con aislamiento

En esta etapa desde simulaciones se revisa la temperatura interior en condiciones de uso normal. Además, la implantación con las orientaciones; favorable (este) y desfavorable (sur). En el caso del LSF con las varia-

ciones siguientes: Configuración de aislamientos, infiltraciones de aire menores y carpinterías. En la Tabla 5 se muestran las simulaciones. La vivienda con LSF utiliza la solución de la simulación A03 (aislamiento perimetral más entrepiso). Por ende, el nivel de infiltraciones de aire disminuye de 25 a 10 ACH50, dato tomado de estudio de [30].

Tabla 5. Condiciones para la etapa 3 de simulaciones

N.º	Sistema constructivo		Tipología de vivienda	Orientación de fachada frontal
	Tipo	Características		
E3_01	Sistema mixto: ladrillo y acero		Medianera	Sur
E3_02				Este
E3_03	10 ACH50	Vivienda tradicional de mampostería	Esquinera	Sur
E3_04				Este
E3_05	3,7 usuarios	Construcción estándar LSF.	Aislada	Sur
E3_06	13,31 W/m2			Este
E3_07	Sistema LSF		Medianera	Sur
E3_08				Este
E3_09	10 ACH50	Aislamiento térmico de la envolvente: EPS en losa, lana de roca de 50 mm en paredes, entrepisos y cubierta.	Esquinera	Sur
E3_10				Este
E3_11	3,7 usuarios		Aislada	Sur
E3_12	13,31 W/m2			Este

El resultado general de cada simulación indica mejores niveles térmicos mejores para ambos sistemas constructivos. Sin embargo, cabe destacar que se han incluido las ganancias térmicas. De tal manera, estos son los niveles térmicos de la vivienda con sistema

tradicional para el uso diario de sus ocupantes. En el caso del sistema LSF los valores son mucho mejores como se observa en la Figura 14. En cuanto al número de horas confort en la Figura 15 se muestran los resultados detallados.

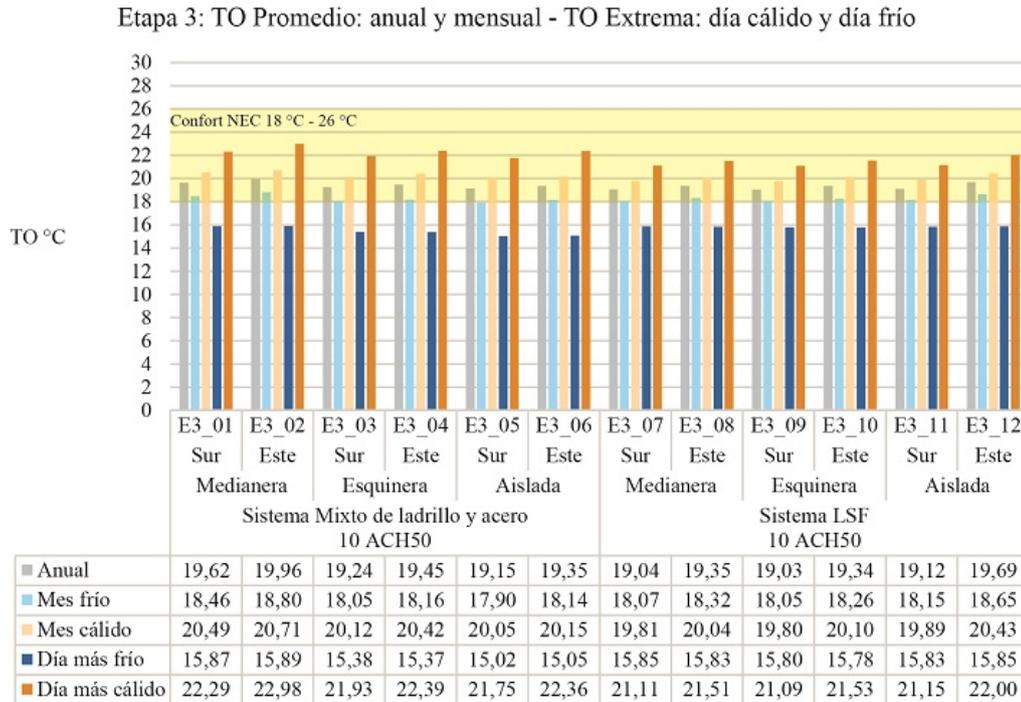


Figura 14. Comparativa térmica general de la tercera etapa

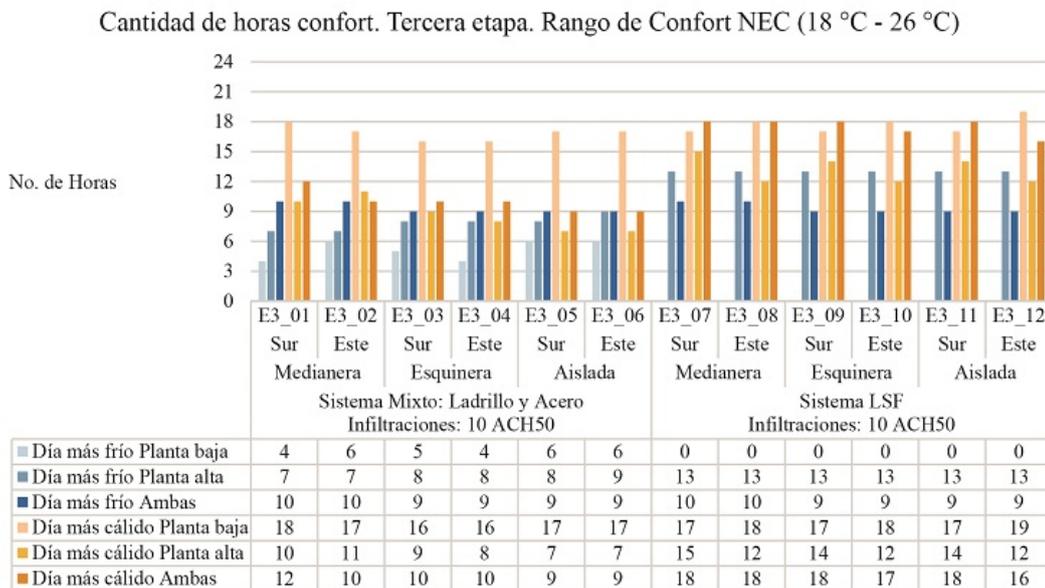


Figura 15. Comparativa del número de horas confort de la tercera etapa

Comparando los niveles térmicos de esta simulación con la etapa anterior, en los casos más extremos, se tienen: en el sistema tradicional, en estado actual, la vivienda muestra en el día frío un 38 % del tiempo niveles de confort interior térmico adecuado, en la noche y la madrugada se dan bajas temperaturas. El

día más caliente se eleva mínimamente a un 42 % de tiempo dentro del rango de confort, observándose sobrecalentamiento desde las 10:00 hasta las 18:00, consecuencia, sobre todo, de la mínima capacidad aislante de la cubierta como se observa en la Figura 16.

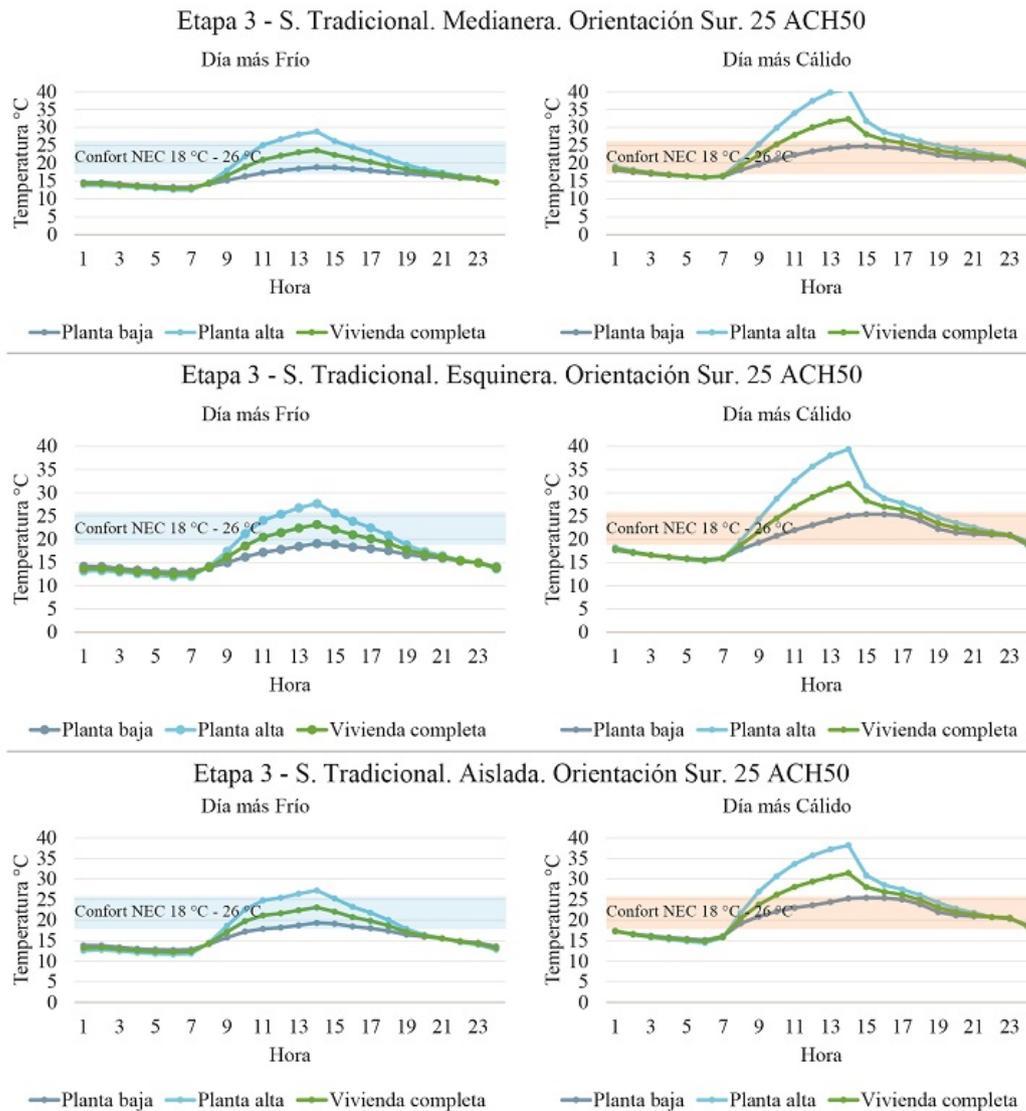


Figura 16. Comparativa térmica, sistema tradicional, tercera etapa

En el sistema LSF, con características de construcción estándar establecidas en la Tabla 5, la vivienda en el día llega a un 38 % de confort interior térmico con valores entre los 13,47 °C y 19,52 °C. En el escenario de día de mayor temperatura, la vivienda llega a un 67 % de horas de confort interior térmico con un rango

de temperaturas entre los 16,53 °C y 26,89 °C. En el día más frío y el día más caliente, en ambos sistemas constructivos, el porcentaje de horas confort diarias prácticamente no supera el 50 % como se observa en la Figura 17.

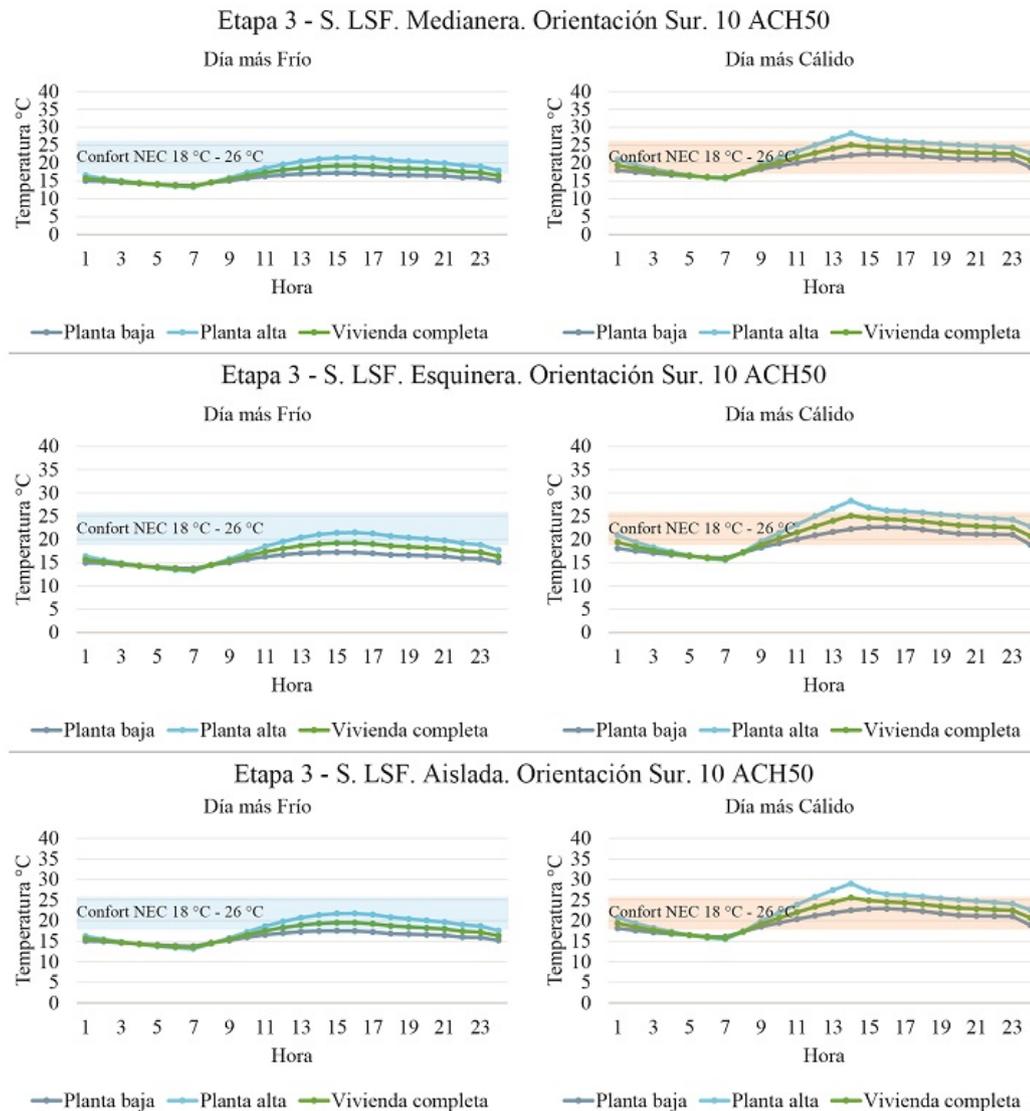


Figura 17. Comparativa térmica, sistema LSF, tercera etapa

3.4. Cuarta etapa: Análisis de la vivienda con LSF con las características de construcción recomendadas con énfasis en la calidad constructiva e infiltraciones de aire

Una vez conocido el rendimiento real de la vivienda de referencia con sistema constructivo de mampostería y estructura de acero (tercera etapa), se analiza respecto al sistema LSF midiendo la posibilidad de incrementar las horas de confort anuales adaptando el

sistema a mejorar la calidad constructiva y la hermeticidad de la vivienda con estrategias de construcción de alto rendimiento (Tabla 6). En esta etapa se supone un ajuste en la envolvente para reducir infiltraciones suponiendo alcanzar 7 de ACH50 (Tabla 6). Se ha establecido en estudios previos con LSF y entramado de madera un valor alcanzable de 7,47 ACH50 [31]. Paralelamente, la (International Energy Conservation Code, 2009 IECC) dispone un valor de 7 ACH50.

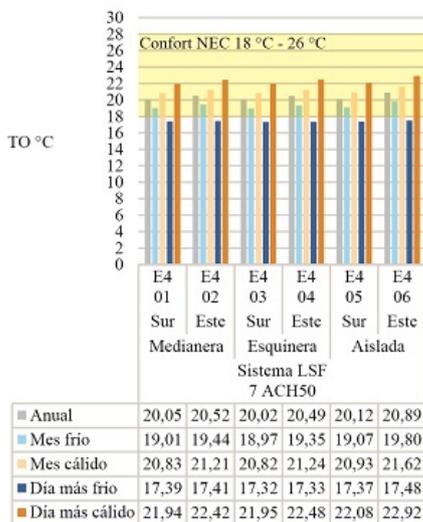
Tabla 6. Condiciones para la etapa 4 de simulaciones

No.	Sistema constructivo		Tipología de vivienda	Orientación de fachada de acceso
	Tipo + ACH	Características		
E4_01	Sistema LSF	Construcción de alto	Medianera	Sur
E4_02		aislamiento. Aislamiento		Este
E4_03	7 ACH50	térmico de la envolvente: EPS	Esquinera	Sur
E4_04		en losa, lana de roca de 50 mm		Este
E4_05	3,7 usuarios	en paredes, entrepisos	Aislada	Sur
E4_06	13,31 W/m ²	y cubierta.		Este

Los resultados señalan que para el día más frío, como se observa en las Figuras 18 y 19, los valores de la temperatura operativa (TO) oscilan entre los 15,92 y 18,55 °C. Las diferencias entre los valores máximos y mínimos son menores. En consecuencia, se encuentra que las fluctuaciones son menores. El incremento de horas de confort, con respecto a la etapa anterior, pasa de un 38 a un 46 % con infiltraciones de 7 ACH50 con ventanas de vidrio doble. En el análisis del día más cálido, los valores de la temperatura operativa se

encuentran entre los 20,53 y 25,77 °C. La diferencia de los valores térmicos entre máximos y mínimos es considerablemente menor al de la vivienda de referencia. El incremento de horas de confort, con respecto a la etapa anterior, pasa de 67 a 100 %. En el día más cálido se observa sobrecalentamiento en la hora de incidencia solar directa, lo cual se puede contrarrestar con ventilación natural dada la temperatura exterior más baja.

Etapa 4: TO Promedio: anual y mensual
TO Extrema: día cálido y día frío



Cantidad de horas confort. Cuarta etapa. Rango de Confort NEC (18 °C - 26 °C)

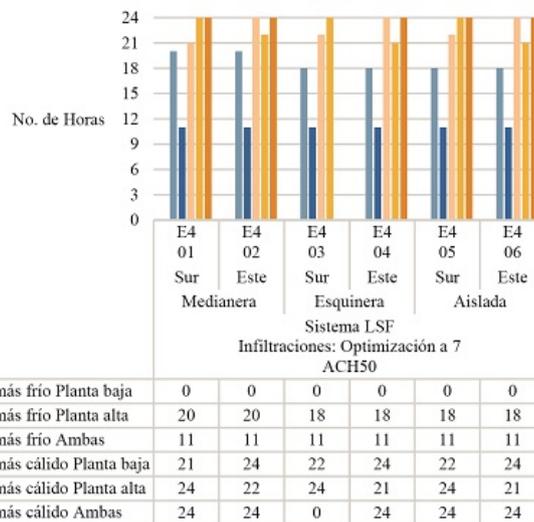


Figura 18. Comparativa térmica y del número de horas confort de la cuarta etapa

En la Figura 19 se muestra a la vivienda con LSF, en todas las orientaciones, donde se aprecia que la curva térmica oscila menos a lo largo del día. Las variaciones térmicas no son tan pronunciadas como se evidencia en las etapas anteriores. Con estrategias

de construcción recomendadas, atendiendo a la materialidad con el objetivo de disminuir los niveles de intercambios de ACH, la vivienda se comporta térmicamente más estable en la temperatura sin la necesidad de recurrir a sistemas de calefacción activos.

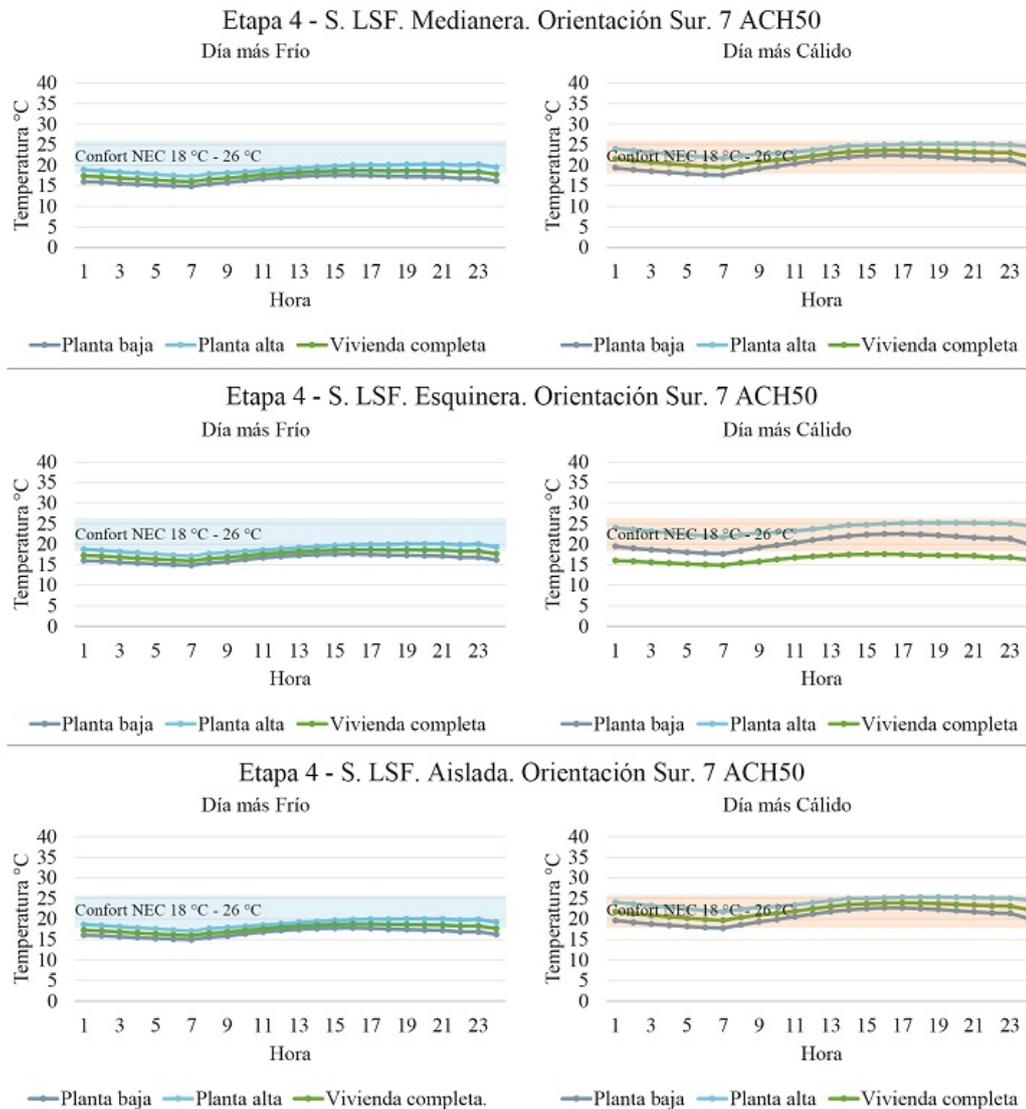


Figura 19. Comparativa térmica, sistema LSF, cuarta etapa

3.5. Discusión

En la primera etapa se determina únicamente el resultado más favorable y más desfavorable en cuanto a la orientación de las viviendas. La orientación de la fachada principal con los vanos de puertas y ventanas hacia el este y oeste es mejor en cuanto al rendimiento energético. Sin embargo, la variación térmica no es considerablemente menor en la orientación norte-sur debido a las dimensiones de la vivienda.

En la segunda etapa en la vivienda de referencia se observan los resultados de las orientaciones desfavorables (norte-sur) donde se alcanza un confort interior térmico en solamente el 27 % de horas de todo el año. La vivienda con LSF, sin aislamientos en contrapiso y cielos rasos, siempre en las mismas orientaciones, se alcanza un confort interior térmico en el 42 % del tiempo.

En la tercera etapa las viviendas en su estado actual, el porcentaje promedio (bajo todas las orientaciones) de horas de un año que están en confort interior térmico es de un 51 %. Esto ocurre, principalmente, por la estructura de acero expuesta tanto al interior como al exterior, y por las importantes pérdidas en la cubierta sin cielo falso. Además, las puertas y ventanas típicamente metálicas, implican también puentes térmicos considerables. Las viviendas con LSF con estrategias de optimización estándar a 10 ACH50, mejora a un 62 % las horas de tiempo fuera de confort respecto a la vivienda base.

En la Etapa 4, en las Figuras 20 y 21, las viviendas con LSF con estrategias de optimización alta e infiltraciones en 7 ACH50, el porcentaje de tiempo confort es del 86 % del tiempo.

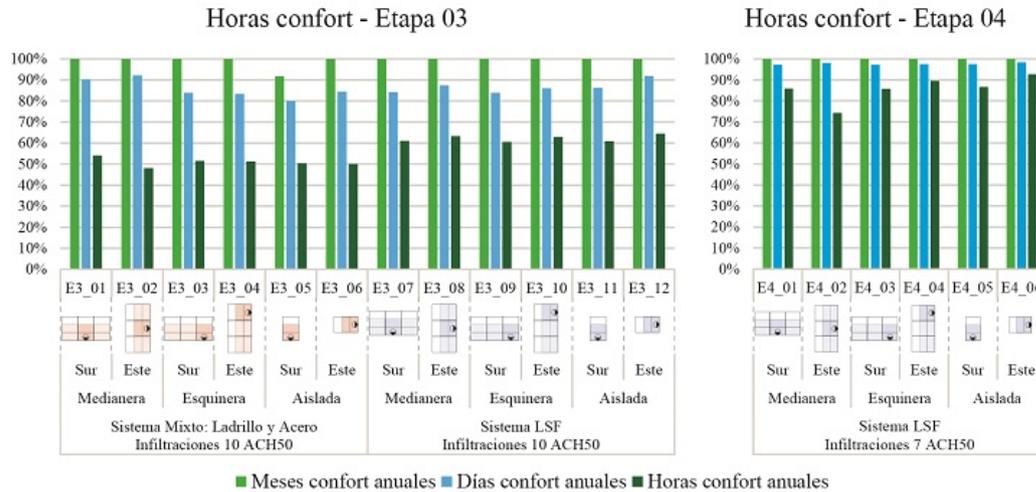


Figura 20. Comparativa de la cantidad de horas confort

Los resultados indican que la vivienda de referencia con sistema constructivo tradicional, posee una temperatura mínima promedio de 15,38 °C y máxima promedio de 27,68 °C, ambas fuera del rango de confort NEC. Sin embargo, cuando la vivienda tiene la envolvente en LSF con estrategias de optimización estándar con características y materiales de aislamiento básicos, la temperatura promedio mínima mejora levemente a 15,55 °C, sin alcanzar el mínimo de la norma y la temperatura promedio máxima es de 26,38 °C, levemente por encima del máximo normado. Finalmente, la vivienda con LSF con estrategias de optimización alta, características que según el análisis son las recomendadas, la temperatura mínima promedio es de 17,19 °C, cercana

a los 18 °C normados y no se registran temperaturas que superen los 26 °C. Se encuentra, finalmente, que el parámetro de mayor incidencia térmica es el control de infiltraciones de aire.

A continuación, en la Figura 21 se muestra un cuadro comparativo promedio de las tres tipologías de vivienda en un solo valor promedio mensual, diario y horario. De tal manera, se muestran los resultados en función del porcentaje del tiempo promedio en el cual las viviendas se encuentran en confort. Se realizan los valores promedio, ya que se demostró en cada una de las etapas que la variación térmica de las tipologías de vivienda es mínima, sin superar 1 °C en la mayoría de los casos.

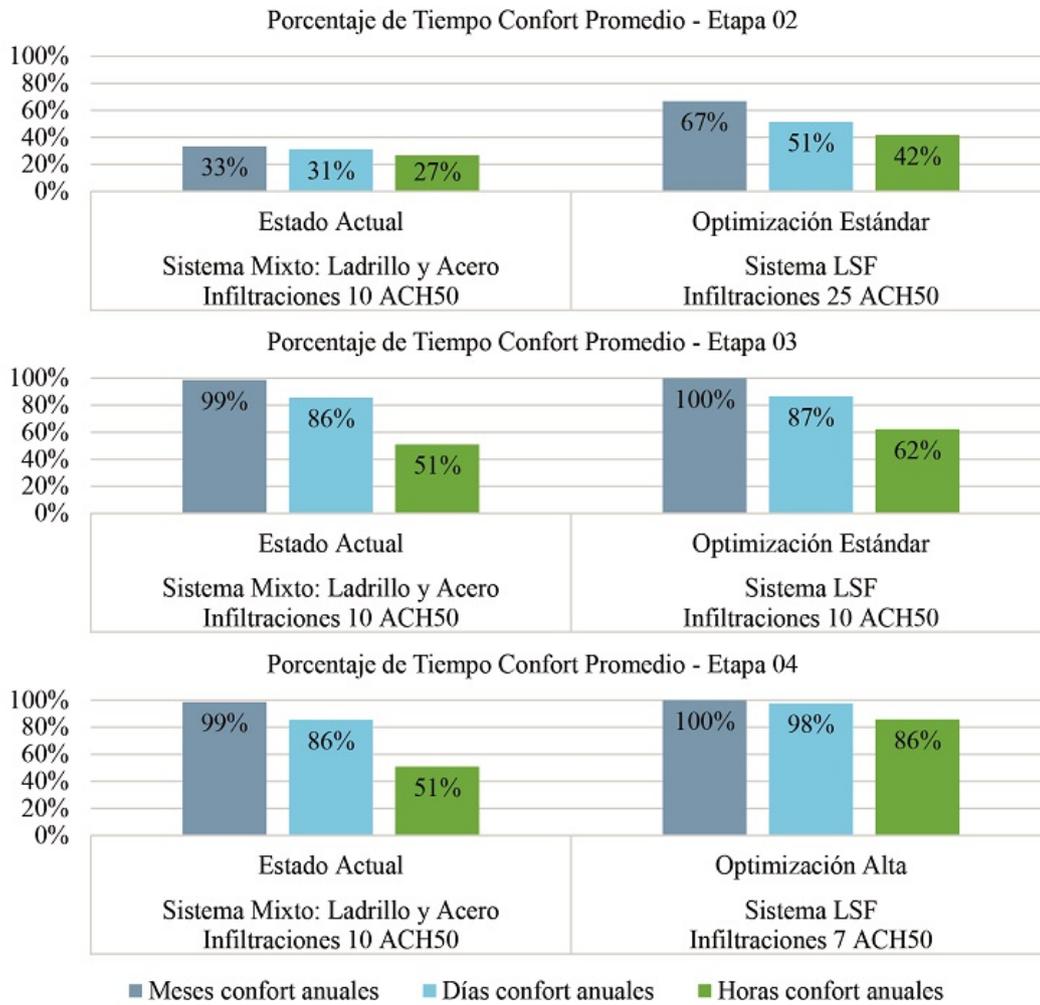


Figura 21. Comparativa de la cantidad de horas confort de todas las etapas

Se evidencia que las dimensiones de la sección en LSF planteados según el análisis estructural son más que suficientes para integrar el aislamiento necesario: 50 mm en lana de roca ubicado entre los studs apegado hacia el lado exterior dejando una cámara de aire de 50 mm entre los studs, en esquema de pared fría.

Luego, los otros parámetros analizados en importancia van desde las infiltraciones de aire, luego materiales de las carpinterías y, en menor medida, la orientación. A continuación, se indica un esquema de la vivienda recomendada con el nuevo sistema LSF para la región andina como se observa en la Figura 22.

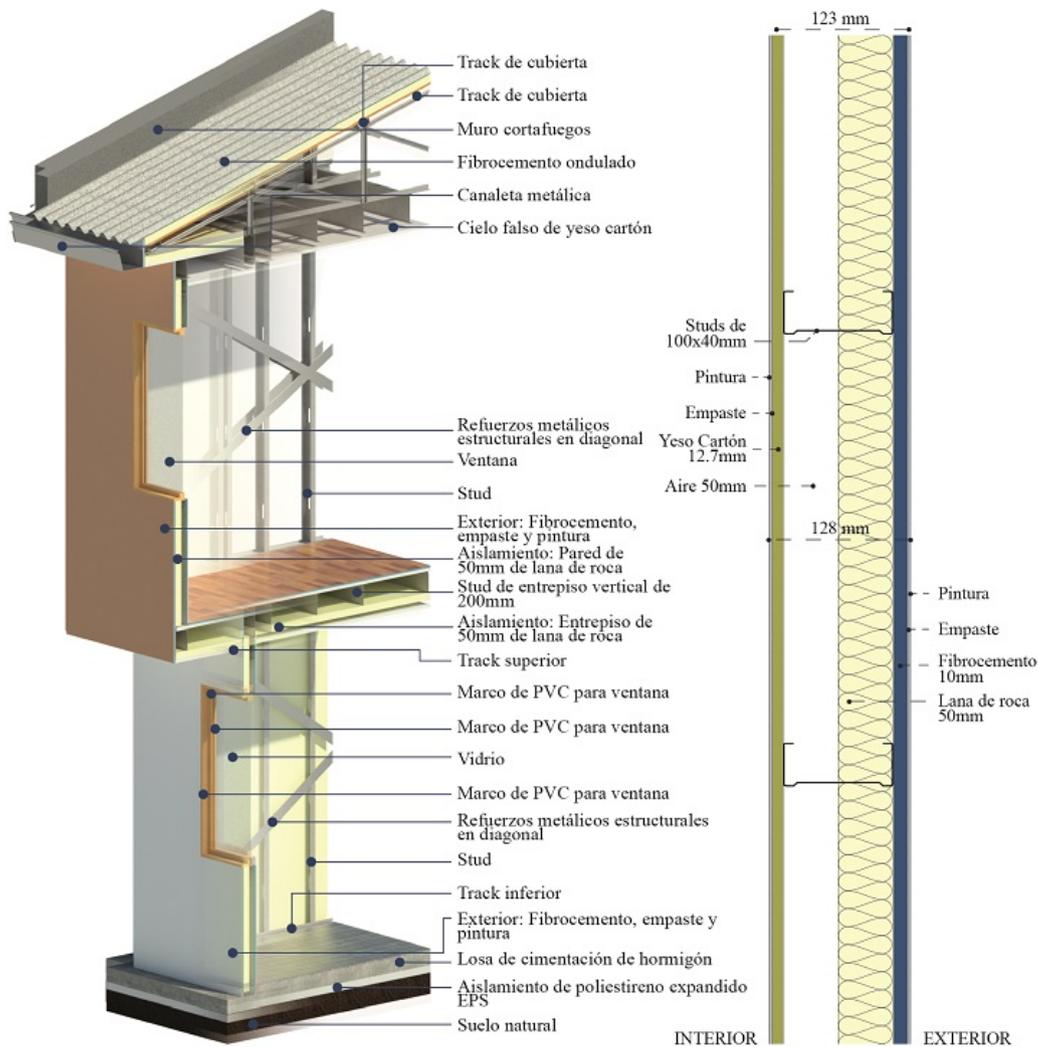


Figura 22. Esquema de la propuesta de la vivienda materializada con LSF

4. Conclusiones

Este trabajo realiza un análisis con simuladores ampliamente validados para detectar condiciones y desfases de confort de viviendas al cambiar y modificar tanto el sistema constructivo como los parámetros de confort. Una vez analizada la modificación de la envolvente desde el sistema tradicional constructivo en acero con envolvente de ladrillo, se revisa las implicancias de la modificación de la envolvente y de otros parámetros como orientación, infiltración y material de carpinterías. Si bien son simulaciones, es el modo más rápido para poder ver los diversos parámetros en igualdad de circunstancias con las modificaciones requeridas.

Los niveles de confort de las viviendas materializadas en LSF alcanzan niveles superiores a la vivienda de referencia edificada con el sistema constructivo mixto de mampostería de ladrillo y estructura en pórticos de acero (metodología de construcción tradicional). Con el cambio de sistema constructivo se incrementa

en un 11 % las horas de confort de la vivienda, pero con trabajo en hermeticidad, cambio de material en carpinterías, aislamiento en losas, entresijos y cielos se alcanza un 35 % más de horas dentro del rango de confort. Si bien, el bloque de ladrillo como material de envolvente tiene mejor inercia térmica, el LSF alcanza niveles apropiados de la envolvente, incluso en configuración sencilla en muro tipo sandwich.

Las variables más importantes para el desempeño ambiental, según este estudio, en orden de mayor a menor influencia térmica son aislamiento en cubierta, entresijos y losa de cimentación. Los resultados indican que con aislamientos horizontales el porcentaje de confort se incrementa del 42 al 62 %. Luego, el parámetro de infiltraciones de aire a través de hermeticidad, el confort térmico se incrementa de 62 a 86 %. En tercer lugar, la materialidad de la vivienda en general, en conjunto con el tipo de carpinterías, la mejora de un sistema ante el otro va del 51 al 86 %. Las variables con menor incidencia obedecen a la implantación y

tipología de viviendas. Estos factores se deben a la configuración de las viviendas y al tamaño de las mismas, ya que las dimensiones no son cuantiosas. La orientación, normalmente, factor de gran incidencia térmica en las otras latitudes para las localidades ecuatoriales el recorrido solar provoca que la incidencia de irradiación dure pocas horas.

Los resultados de los análisis por orientación son, en promedio, en la temperatura interna, apenas 1 °C superiores a la orientación norte-sur, incluso bien orientadas reciben poca radiación solar directa en las fachadas debido a la separación mínima entre viviendas, por condiciones de agrupación.

Una vivienda en la ciudad de Cuenca con garantías de habitabilidad dentro del rango de confort térmico entre 18 °C y 26 °C es factible con la alternativa de materialidad propuesta. En consecuencia, es adaptable para varias ciudades de Colombia, Ecuador y Perú que se encuentran en condiciones de ecuatorianidad con una altura cercana a los 2500 m s. n. m. Sin embargo, para climas más extremos es necesario revisar la adaptabilidad de la envolvente.

Con el cambio de materialidad no solo se busca generar viviendas que sean confortables para los usuarios finales, sino que también, como indican las fuentes consultadas, se busca reducir el impacto ambiental y ecológico que genera la industria de la construcción, en su mayoría con procesos artesanales, muchos sin control, evitando desperdicios innecesarios, ahorrando recursos que son cada vez más escasos antes, durante y después de la construcción.

Referencias

- [1] V. Arengo Piragine, J. Cruz Breard, and C. Pilar, “Anteproyecto de viviendas sociales con *steel framing* en Corrientes. Comparación con sistema húmedo tradicional,” *Arquitecto*, no. 15, p. 37, 2020. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0154386>
- [2] A. O. Venegas Tomalá, “Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semimecanizado tochano en Cuenca, a través del análisis de ciclo de vida (ACV),” Universidad de Cuenca, Ecuador, 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/2Soq1IU>
- [3] M. T. Baquero L. and F. Quesada M., “Eficiencia energética en el sector residencial de la ciudad de Cuenca, Ecuador,” *Maskana*, vol. 7, no. 2, pp. 147–165, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.11>
- [4] M. Manzan, E. Zandegiacomo De Zorzi, and W. Lorenzi, “Numerical simulation and sensitivity analysis of a steel framed internal insulation system,” *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 1703–1710, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.069>
- [5] M. Bernardes, S. G. Nilsson, M. S. Martins, and A. Romanini, “Comparativo econômico da aplicação do sistema light steel framing em habitação de interesse social,” *Revista de Arquitetura IMED*, vol. 1, no. 1, pp. 31–40, 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18256/2318-1109/arqimed.v1n1p31-40>
- [6] L. M. Lupan, D. L. Manea, and L. M. Moga, “Improving thermal performance of the wall panels using slotted steel stud framing,” *Procedia Technology*, vol. 22, pp. 351–357, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.108>
- [7] INEC. (2017) Encuesta de edificaciones 2017. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador. [Online]. Available: <https://bit.ly/3NsvnyW>
- [8] MIDUVI, “NEC-11. vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 4.0 m,” Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. República del Ecuador, 2011. [Online]. Available: <https://bit.ly/3HU0uCk>
- [9] E. Roque and P. Santos, “The effectiveness of thermal insulation in lightweight steel-framed walls with respect to its position,” *Buildings*, vol. 7, no. 1, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/buildings7010013>
- [10] A. M. Sarmanho Freitas and R. C. Moraes de Crasto, *Steel Framing: Arquitectura*. Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero - ILAFA, 2007. [Online]. Available: <https://bit.ly/3QOMYUy>
- [11] J. L. Lamus Rodríguez, “Análisis de viabilidad económica: sistema constructivo *light steel framing* en Colombia,” Master’s thesis, Universidad de los Andes. Colombia, 2015. [Online]. Available: <https://bit.ly/3HRQfhU>
- [12] E. Rodrigues, N. Soares, M. S. Fernandes, A. R. Gaspar, Álvaro Gomes, and J. J. Costa, “An integrated energy performance-driven generative design methodology to foster modular lightweight steel framed dwellings in hot climates,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 44, pp. 21–36, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.02.006>
- [13] E. de Angelis and E. Serra, “Light steel-frame walls: Thermal insulation performances and thermal bridges,” *Energy Procedia*, vol. 45, pp. 362–371, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.039>

- [14] B. Schafer, D. Ayhan, J. Leng, P. Liu, D. Padilla-Llano, K. Peterman, M. Stehman, S. Buonopane, M. Eatherton, R. Madsen, B. Manley, C. Moen, N. Nakata, C. Rogers, and C. Yu, "Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings," *Structures*, vol. 8, pp. 197–212, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2016.05.009>
- [15] T. Tafsirojjaman, S. Fawzia, D. Thambiratnam, and X. Zhao, "Seismic strengthening of rigid steel frame with cfrp," *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 334–347, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.08.007>
- [16] J. R. da Silva Nogueira, I. J. Apolônio Callejas, and L. Cleonice Durante, "Desempenho de painel de vedação vertical externa em light steel framing composto por placas de madeira mineralizada," *Ambiente Construido*, vol. 18, no. 3, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300282>
- [17] F. Bolina, R. Christ, A. Metzler, U. Quinino, and B. Tutikian, "Comparison of the fire resistance of two structural wall systems in light steel framing," *DYNA*, vol. 84, no. 201, pp. 123–128, abr. 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.57487>
- [18] E. Yandzio, R. M. Lawson, and A. G. J. Way, *Light steel framing in residential construction*. SCI. Silwood Par, Ascot, Berkshire, 2015. [Online]. Available: <https://bit.ly/3xXZhoV>
- [19] P. E. Amador Salomão, A. D. Alves Soares, A. L. P. Lorentz, and L. T. Gonçalves de Paula, "Conventional masonry and light steel framing comparative analysis: a case study in unifammary residence in Teófilo Otoni, MG," *Research, Society and Development*, vol. 8, no. 9, p. e14891268, Jun. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i9.1268>
- [20] H. OlivieriIvan, I. C. Alves Barbosa, A. C. Da Rocha, A. Denis Granja, and P. S. Pucharelli Fontanini, "A utilização de novos sistemas construtivos para a redução no uso de insumos nos canteiros de obras: Light steel framing," *Ambiente Construido*, vol. 17, no. 4, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400184>
- [21] MIDUVI, *Acuerdo Ministerial: Reglamento para validación de tipologías y planes masa para proyectos de vivienda de interés social*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. República del Ecuador, 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/3HSg3ul>
- [22] —, *Eficiencia energética en edificaciones residenciales NEC-HS-EE*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. República del Ecuador, 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/39U5CtD>
- [23] —, *Eficiencia energética en la construcción en Ecuador*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. República del Ecuador, 2011. [Online]. Available: <https://bit.ly/39QqLoM>
- [24] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Summary for Policymakers*. Cambridge University Press, 2014, ch. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis, pp. 1–30. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [25] S. A. Navarrete Boutaud, *Impacto de las infiltraciones de aire en el desempeño energético y térmico de las viviendas*. Universidad de Concepción. Chile, 2016. [Online]. Available: <https://bit.ly/3QSwxqg>
- [26] Design Builder. (2022) Design builder software. [Online]. Available: <https://bit.ly/3OnQ8gp>
- [27] Berkeley Lab. (2022) THERM. Windows and Daylighting. [Online]. Available: <https://bit.ly/3HU2iv6>
- [28] J. Roset Calzada, R. A. Vásquez Paredes, and L. M. Barajas Saldaña, "Ús efficient de programes informatics en arquitectura: Designbuilder i Dialux," *JIDA '14. II Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura*, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5821/jida.2014.5027>
- [29] INEC. (2011) VII Censo de Población y VI de Vivienda. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. [Online]. Available: <https://bit.ly/3br35Ym>
- [30] H. Madrid, F. Opazo, and O. Parada, "Impacto de las infiltraciones de aire en el desempeño energético y térmico de las viviendas," *Construcción*, 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/3yn1Gev>
- [31] The U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research, *Steel vs. Wood. Cost Comparison. Beaufort Demonstration Homes*. Partnership for Advancing Technology in Housing, 2002. [Online]. Available: <https://bit.ly/3ngPhCz>