Universidad de Cuenca
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Evaluación del confort térmico de una vivienda unifamiliar proyectada con Steel Frame optimizada acorde a la sección estructural

Tesis previa a la obtención del título de Arquitecto

Autores: Jaime Rodrigo Brito Peña - Jonnathan Daniel Villa Enderica
Director: PhD. Arq. Esteban Felipe Zalamea León
20 de diciembre del 2020

Universidad de Cuenca
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Evaluación del confort térmico de una vivienda unifamiliar proyectada con Steel Frame optimizada acorde a la sección estructural

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autores
Jaime Rodrigo Brito Peña
CI.: 0105883854
jaimerodrigo26@gmail.com

Jonnathan Daniel Villa Enderica
CI.: 0105165419
dannyelvi12@hotmail.com

Director
PhD. Arq. Esteban Felipe Zalamea León
CI.: 0102125952

Cuenca, Ecuador
20 de diciembre del 2020

Resumen

En el país, en los últimos 15 años, el sector de la construcción ha crecido un 35.6%. Según las estadísticas del INEC en el 2017, las edificaciones residenciales son las que ocupan el primer lugar. La mayoría de los permisos corresponden a viviendas unifamiliares con un 59.1%. El cantón Cuenca ocupa el cuarto lugar en permisos de construcción a nivel nacional.

El sistema constructivo más extendido para edificar en el país es el tradicional de mampostería de bloque o ladrillo y hormigón armado. Los materiales predominantes, son el bloque y el ladrillo. La vivienda prefabricada apenas tiene una cuota del 2.9% en el mercado nacional.

Para solucionar la demanda de vivienda en Ecuador, el objetivo es evaluar el confort interior térmico de una de vivienda unifamiliar de dos plantas en la ciudad de Cuenca con el sistema constructivo LSF para cumplir los estándares de confort térmico establecidos en la Norma NEC.

La investigación se desarrolla de manera virtual utilizando el software Desing Builder. El análisis se da por etapas donde se analizan los diferentes parámetros que influyen en el confort interior térmico de las viviendas para conocer el desempeño energético de ambos sistemas constructivos.

Los resultados de la incomodidad térmica de los usuarios en las distintas viviendas varían en función de los parámetros y el sistema constructivo.

Las viviendas de referencia, en su estado actual, con el sistema constructivo tradicional mixto de ladrillo y acero el porcentaje promedio de horas anuales en confort interior térmico es de un 51%. Por el contrario, las viviendas con el sistema LSF con Estrategias de optimización estándar alcanzan un promedio anual del 62%. El rendimiento de la vivienda con el sistema LSF es mayor cuando se utiliza estrategias de optimización alta. Los valores suben hasta un 86%.

Las variables más importantes para el rendimiento energético para las edificaciones de la ciudad de Cuenca, en orden de mayor a menor influencia térmica son; Infiltraciones de Aire, Sistema constructivo, Implantación de la vivienda.

En la Ciudad las viviendas unifamiliares de dos plantas pueden ser edificadas con el sistema LSF con paredes de tipología fría.

Palabras Clave:

Vivienda, Construcción tradicional, Confort térmico, Simulación, Light Steel Framing.

Abstract

In the country, in the last 15 years, the construction sector has grown 35.6%. According to INEC statistics in 2017, residential buildings are those that occupy the first place. Most of the licenses correspond to single-family homes with 59.1%. The Cuenca city ranks the fourth place in construction licenses nationwide.

The most widespread construction system for building in the country is the traditional masonry of block or brick and reinforced concrete. The predominant materials are block and brick. Manufactured housing barely has a 2.9% of demand in the national market.

To solve the housing demand in Ecuador, the objective is to evaluate the thermal interior comfort of a single-family home with two floors in the city of Cuenca with the LSF construction system to meet the thermal comfort standards established in the NEC Standard.

The research is carried out virtually using the Design Builder software. The analysis is carried out in several stages where the different parameters that influence the thermal interior comfort of the houses are analyzed to know the energy performance of both construction systems.

The results of the thermal discomfort of the users in the different houses vary depending on the parameters and the construction system.

The reference homes, in their current state, with the traditional mixed brick and steel construction system, the average percentage of annual hours in thermal interior comfort is 51%. In contrast, homes with the LSF system with the Standard Optimization Strategies reach an annual average of 62%. The efficiency of the house with the LSF system is higher when high optimization strategies are used; values go up to 86%.

The most important variables for energy efficiency for buildings in the city of Cuenca, orderly from highest to lowest thermal influence are; Air infiltrations, Construction system, Implementation of the house.

In the City, single-family homes with two floors can be built with the LSF system with cold-type walls.

Keywords:

Housing, Traditional construction, Thermal comfort, Simulation, Light Steel Framing.

Universidad de Cuenca

Contenido

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO III: PROPUESTA DE ESTUDIO

CAPÍTULO IV: SIMULACIONES

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Jaime Rodrigo Brito Peña, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación del confort térmico de una vivienda unifamiliar proyectada con Steel Frame optimizada acorde a la sección estructural", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de diciembre de 2020

Jaime Rodrigo Brito Peña

C.I: 0105883854

Yo, Jonnathan Daniel Villa Enderica, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación del confort térmico de una vivienda unifamiliar proyectada con Steel Frame optimizada acorde a la sección estructural", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de diciembre de 2020

Jonnathan Daniel Villa Enderica

C.I: 0105165419

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Jaime Rodrigo Brito Peña, autor del trabajo de titulación "Evaluación del confort térmico de una vivienda unifamiliar proyectada con Steel Frame optimizada acorde a la sección estructural", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de diciembre de 2020

Jaime Rodrigo Brito Peña

C.I: 0105883854

Yo, Jonnathan Daniel Villa Enderica, autor del trabajo de titulación "Evaluación del confort térmico de una vivienda unifamiliar proyectada con Steel Frame optimizada acorde a la sección estructural", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de diciembre de 2020

Jonnathan Daniel Villa Enderica

C.I: 0105165419

Dedicatoria

A mis padres, Rosa y Hugo, ya que gracias a ellos se cumple un objetivo importante de mi vida. En especial a mi mamá que ha estado cada día durante todos estos años siendo una guía con todo su apoyo incondicional.

A mis hermanos; Alex, Juan y Dayanna, por formar parte este logro y por la ayuda y el apoyo que he recibido siempre.

Es junto a mi familia que he logrado alcanzar mi objetivo y en reconocimiento a todo el apoyo infinito dedico esta investigación como agradecimiento por formar parte de todo mi proceso académico.

Rodrigo Brito

A Dios por la vida, salud y fuerzas para mantenerme de pie en este camino lleno de retos.

A mis padres por el apoyo incondicional y sobre todo a mi madre María Enderica por confiar en mí y apoyarme en las difíciles decisiones que hoy me conllevan a cumplir una meta más para mi vida profesional.

A mi esposa e hija por el apoyo y sobre todo comprensión en el día a día de esta difícil pero hermosa profesión.

Daniel Villa

Agradecimientos

Los autores agradecemos a todos quienes conforman la Universidad de Cuenca. En especial a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, a todos nuestros docentes que formaron parte del proceso de aprendizaje durante la carrera.

Al Arq. Hernán Sánchez por su colaboración y gestión con la parte bioclimática de la investigación.

A la empresa Tugalt del Grupo Industrial Graiman por la asesoría estructural del proyecto.

A los arquitectos docentes, Pablo León y Javier Saltos, por colaborar con las visitas a la vivienda de referencia.

Y un agradecimiento infinito de manera especial a nuestro director, Arq. Esteban Zalamea, por su enseñanza, tiempo y dedicación siendo guía y parte del desarrollo de esta investigación.

Los Autores

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO

I

Imagen 01: Vista de las viviendas adaptadas al sistema constructivo LSF en la urbanización Los Capulíes
Fuente: Los autores

1.1. Introducción

El mercado actual demanda innovación en nuevas tecnologías de construcción que mejoren la seguridad, durabilidad, calidad y velocidad de construcción. Estos desafíos, cuando son desatendidos, generan proyectos que no son vialmente económicos. De tal manera para mejorar la construcción en el país es necesaria la utilización de nuevas tecnologías y enfoques adecuados en el campo de la construcción (Balali, Zahraie, y Roozbahani, 2014).

La mayor parte del consumo energético dentro de las viviendas se debe al gasto de climatización (Manzan, Zandegiacomo De Zorzi, y Lorenzi, 2018). Esto representa un alto impacto económico y medioambiental durante la vida útil de un inmueble. Por lo tanto, la responsabilidad de los actores involucrados en el proceso de la construcción de edificaciones ha crecido sustancialmente para obtener distintas soluciones que garanticen un menor consumo energético y se cumplan las normativas correspondientes (Manzan et al., 2018).

En Ecuador la demanda de vivienda crece debido al incremento de la población. Según las estadísticas del INEC, en el 2018 los permisos de construcción crecieron 5,7% más que el 2017. Del mismo modo en 2017 se dio un crecimiento del 13,2% en relación al 2016. Las edificaciones del tipo residencial son las que ocupan el primer lugar según su propósito con un 84.1%. La mayoría de los permisos que han sido tramitados corresponden a viviendas unifamiliares. Las provincias que lideran la demanda de vivienda son Guayas, Pichincha y Azuay. Del mismo modo; Guayaquil representó el 14,7% de las edificaciones a construir, seguido de Quito y Cuenca con 13,8% y 5,8% respectivamente.

Los materiales predominantes para edificar en Ecuador son; hormigón armado para cimentaciones, estructura y cubiertas, mampostería de bloque y ladrillo para paredes y cerramientos. Por el contrario, la vivienda del tipo prefabricada apenas tiene una cuota del 2.9% en el mercado nacional (INEC, 2018).

Con el incremento del gasto energético es necesario cambiar las formas de construcción en el país con el fin de reducir el consumo de energía durante la operación de la edificación (MIDUVI, 2011b). El desempeño energético de las edificaciones con el sistema constructivo Light Steel Framing (LSF, por sus siglas en inglés), hace que los costos de calefacción y ventilación sean menores en comparación al sistema tradicional.

El uso del LSF inició desde 1933 en la Feria Mundial de Chicago en Estados Unidos cuando se presentan los primeros prototipos habitacionales unifamiliares con LSF. El crecimiento significativo del uso del sistema se da después de la segunda guerra mundial debido a la necesidad urgente de vivienda, principalmente en Estados Unidos.

A inicios de este siglo en Norteamérica la cuota de mercado supera el 80% en paredes y tabiques no estructurales. El resto de países han ido adoptando esta tendencia de construcción inicialmente para elementos no estructurales. Hoy en día se pueden resolver edificaciones completas con este sistema (Yu, 2016).

El LSF es uno de los sistemas constructivos más eficientes cuando de comportamiento energético se habla. Durante los procesos de construcción y la vida útil de las edificaciones la optimización del consumo energético se refleja en la disminución de la demanda energética (Lamus Rodríguez, 2015).

Numerosas ventajas se evidencian con el sistema constructivo LSF desde la rapidez de construcción, facilidad de transporte, simplificación en los procesos de colocación de instalaciones, flexibilidad del diseño arquitectónico, un excelente comportamiento sismorresistente, entre otras. En conjunto se genera durabilidad de los inmuebles, costos en la construcción menores, entre otras (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

El LSF posee un excelente comportamiento sísmico por su configuración. Posee menor rigidez y mayor ductilidad sumado al peso de la estructura y sus componentes que en comparación al sistema tradicional, el sistema entero es más ligero. Por lo tanto, su respuesta sísmica es favorable ante cargas horizontales (Schafer et al., 2016).

En esta investigación se estudia el comportamiento interior térmico de una vivienda unifamiliar de dos plantas ubicada en la ciudad de Cuenca. El estudio se centra en el análisis del rendimiento energético de la vivienda cuando está edificada con el sistema constructivo de mampostería de ladrillo y estructura de acero, método constructivo de mayor uso en el país, y el sistema constructivo LSF, método constructivo de menor demanda en el país.

La investigación se realiza de manera digital mediante la simulación por software especializado en análisis medioambiental de las edificaciones a fin de sugerir una solución óptima en la creciente tendencia habitacional del país, atendiendo las exigencias de los usuarios en materia de confort interior térmico de las edificaciones.

En el estudio se enfoca en el caso particular de la vivienda tipo 2 de la urbanización Los Capulíes ubicada en la ciudad de Cuenca. Esta urbanización propiedad de la EMUVI EP ha sido edificada bajo un sistema constructivo tradicional mixto de estructura de acero y mampostería de hormigón armado. La vivienda pertenece a la clasificación del INEC de viviendas unifamiliares de mayor demanda en el país, con el sistema tradicional de mampostería In situ.

Esta vivienda de dos plantas permite para desarrollar el estudio de manera técnica y comparar el desempeño interior térmico entre los dos sistemas constructivos, sistema tradicional y sistema LSF, en la misma vivienda bajo las mismas condiciones.

Al final del estudio, el objetivo es mejorar la calidad de vida de los usuarios dentro de una vivienda que tenga altos estándares constructivos y alcance el rango de confort interior térmico.

Imagen 02: Urbanización Los Capulíes en noviembre del 2019
Fuente: ALos Autores

1.2. Problemática

La construcción nacional está en pleno desarrollo. Para el año 2018 el Azuay llegó a los 853.000 habitantes en comparación con el año 2010 donde la provincia tenía 712.127 habitantes. La población en diez años aumentó un 19% (Villacís y Carrillo, 2011). En el país en los últimos 15 años el sector de la construcción ha crecido un 35.6%. En el año 2018 del total de permisos de construcción el 84.1% correspondió a edificaciones residenciales. El 56.9% corresponden a viviendas unifamiliares, y el 88.1% son viviendas nuevas. Nueve de cada diez son viviendas nuevas (INEC, 2018). Estos indicadores reflejan una necesidad latente de soluciones habitacionales por lo que es necesario abastecer la demanda con vivienda nueva a la población.

El incremento poblacional trae consigo efectos negativos para la construcción de vivienda debido a la utilización del sistema constructivo de mampostería confinada con hormigón armado. En Ecuador los materiales predominantes, al momento de construir mamposterías, son el bloque con el 63.7% y el ladrillo con el 32.4%. El material predominante para la construcción de estructuras es el hormigón armado con un 90.1%, seguido de la estructura metálica con 7.1% (INEC, 2018).

La industria de la construcción representa uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero, por lo cual, se la acredita como la principal responsable de la utilización de los recursos naturales no renovables e implementación de combustibles fósiles para su producción. Es por ello que se generan impactos desde la fabricación, transporte, ejecución, y mantenimiento hasta el fin de su ciclo funcional (Venegas Tomalá, 2018).

De acuerdo al Instituto Americano de Arquitectos, el 50% de

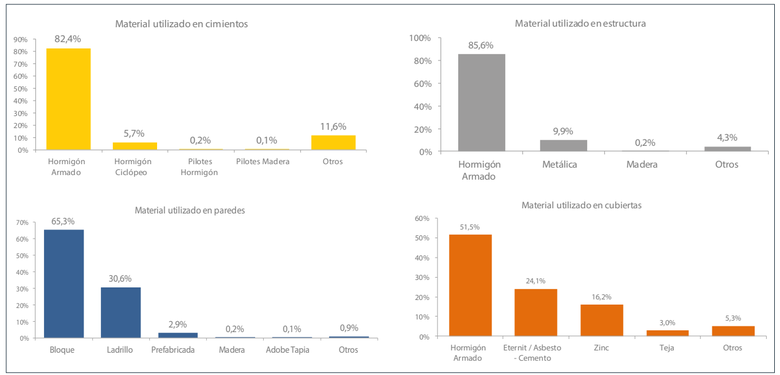


Imagen 03: Materiales predominantes utilizados en las edificaciones en Ecuador
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Encuesta de Edificaciones 2018.

las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, fueron producidas por la industria de la construcción. De tal manera, la construcción se ubica como la segunda industria con mayor demanda energética (Baquero y Quesada, 2016).

Otro factor que se genera con la construcción húmeda de ladrillo y hormigón es la gran cantidad de desechos sólidos que deben ser procesados, al mismo tiempo, durante su tratamiento generan gases de efecto invernadero en forma de gas metano. Mientras tanto, en el país los altos índices de utilización de materiales para la construcción de viviendas colocan en primer lugar al sistema constructivo tradicional, hecho que aporta grandes cantidades de desperdicios y mientras más altos sean los residuos, existe mayor contaminación (La Roche, 2010).

En el cantón Cuenca la Comisión de Gestión Ambiental (CGA), determinó a la industria ladrillera como el segundo generador de contaminación primaria, debido a la gran cantidad de dióxido de carbono y partículas que son liberados en el aire. En consecuencia, una alta demanda de utilización del ladrillo en la ciudad coloca a este material como el de mayor incidencia en el impacto medioambiental (Baquero y Quesada, 2016).

La NEC-11 menciona que el déficit de vivienda sumado a la pobreza del país, producen edificaciones de bajo presupuesto con materiales artesanales que hacen que las viviendas no cumplan los niveles de confort térmico adecuados (MIDUVI, 2011b). En Ecuador, el estado es el ente rector de la planificación, regulación y control de las políticas de hábitat y vivienda, por lo tanto, las nuevas edificaciones deben cumplir los estándares de la NEC (MIDUVI, 2019).

La respuesta sísmica del sistema constructivo de mampostería confinada es comprometedora ante un desastre, debido a la rigidez del propio sistema que no permite evacuar la energía sísmica con facilidad. En la mayoría de los casos para obtener resistencias adecuadas se requiere el uso de grandes secciones, ya sea por altura de la edificación o por grandes luces. Hecho que aumenta el peso propio de la estructura significativamente trayendo consigo otros riesgos para la edificación, como es el caso de asentamientos diferenciales por una mala calidad del suelo, que para evitarlos es necesario el uso de cimentaciones profundas o reforzadas. Efecto que altera significativamente el factor económico de un inmueble (Tafsirojjaman, Fawzia, Thambiratnam, y Zhao, 2019).

El LSF mejora sustancialmente el comportamiento sísmico de viviendas al ser un sistema constructivo liviano, debido a la configuración de paneles con el sistema plataforma, que permite que toda la estructura sea portante. Este sistema es óptimo al momento de la implantación debido a que es ligero se puede reducir el riesgo de asentamientos por mala calidad del suelo y reducir costos en cimentación. Es muy popular en regiones de alto impacto de sismos mitigando sus impactos y consecuencias (Tafsirojjaman et al., 2019).

En países desarrollados se ha adoptado la industrialización como el medio más rápido y económico para abastecer la necesidad de vivienda, manteniendo los estándares de confort térmico y acústicos según los reglamentos

respectivos (Veljkovic y Johansson, 2007). En países de América y Europa ya se han popularizado los sistemas constructivos industrializados, la implementación del sistema constructivo LSF, resulta menos ofensiva con el ambiente y ofrece grandes ventajas estructurales, económicas y ambientales (Roque y Santos, 2017).

La mayoría de la demanda energética de un edificio se refleja en gastos de climatización (Manzan et al., 2018). De este modo, es importante la correcta utilización de los sistemas constructivos para lograr una calidad de confort interior térmico utilizando el mínimo gasto energético posible (Lupan, Manea, y Moga, 2016). Sin embargo, en la ciudad y el entorno de la vivienda no es común la utilización de sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado, por sus siglas en inglés). Por lo que el costo de calefacción en las viviendas con equipos mecánicos no es habitual su uso.

En las últimas décadas la conciencia sobre el uso de energía sostenible está en crecimiento, con ello la industria de la construcción tradicional se ve afectada. En este contexto la adecuación del sistema constructivo LSF debe darse a las condiciones climáticas donde se implantará y el diseño del proyecto adaptado a la realidad local (Paul, Radavelli, y da Silva, 2015).

Las edificaciones en su ciclo de vida inciden negativamente al medio ambiente por el uso elevado de energía y la contaminación que producen debido al sistema constructivo poco eficiente, al mismo tiempo, una edificación sin confort térmico incide en la salud de los usuarios con diversas complicaciones.

La materialidad a utilizar, para un metro cuadrado de construcción, invierte una cantidad de energía equivalente a la combustión que es producida por 150 litros de gasolina. La misma es equivalente a una emisión de 0.5 toneladas de dióxido de carbono y 1600 kWh de consumo energético. Los datos mencionados corresponden al impacto de la huella de carbono de los materiales como; ladrillo, bloque y hormigón, que mayormente son utilizados en la construcción tradicional (Cuchí, Wadel, López, y Sagrera, 2007).

Para garantizar el confort interior térmico en países donde el frío genera una preocupación latente se utiliza el LSF con revestimientos interiores de yeso cartón acompañados de lana mineral como material de aislamiento termoacústico, tanto en las paredes, entrepisos y cubiertas protegiendo los puentes térmicos que se generan en los encuentros de los diferentes componentes constructivos (Veljkovic y Johansson, 2007).

La modulación no es un estándar para la construcción y los desperdicios representan gastos para el consumidor después del proceso constructivo de mampostería y hormigón. El sistema es menos eficiente. En el caso particular de los cerramientos con LSF existe un ahorro del 70% en transporte, el periodo de construcción se reduce un 60%, el reciclaje llega a las 9 veces, el peso de la edificación es un 80% menor, el consumo de agua es despreciable, la energía para producir los materiales es menor en un 33% y en el caso constructivo se reduce un 32%. Además, los residuos de la construcción con LSF son la décima parte en comparación al sistema tradicional (Valero, 2013).

El costo final de una edificación in situ de mampostería y hormigón incluye gastos de manejo y desalojo de escombros, desperdicios, y material sobrante que representan un rubro considerable para la economía del consumidor.

En el medio nacional y local las edificaciones prefabricadas no ocupan una cuota de mercado significativa según el último reporte del MIDUVI debido a la poca frecuencia de utilización del sistema LSF por profesionales y consumidores perdiéndose numerosas ventajas de sus características.

En el ámbito nacional la implementación de nuevas soluciones constructivas es muy escasa como se evidencia en las estadísticas de la Encuesta de edificaciones del INEC 2018. Todos los actores sociales no han sumado esfuerzos por implementar soluciones constructivas que están probadas en otros países y mejoran ampliamente el rendimiento de los materiales tradicionales de mampostería y hormigón armado en viviendas unifamiliares.

Desde los consumidores, obreros, profesionales de la construcción y habitantes en general, debido a diversos factores, no han ido implementando la utilización de sistemas nuevos o prefabricados. Entre las causas más evidentes se puede señalar la cultura de la construcción artesanal en el país. La utilización de materiales como el ladrillo, bloque y cemento para la edificación de viviendas es común por lo que es difícil la introducción de nuevas tecnologías en el mercado nacional. La población está acostumbrada al sistema tradicional de mampostería confinada por lo que desconoce las ventajas de las nuevas soluciones.

Universidad de Cuenca

Imagen 04: Proceso constructivo tradicional de mampostería de ladrillo
Fuente: Los Autores

Imagen 05: Proceso constructivo tradicional de mampostería de ladrillo
Fuente: Los Autores

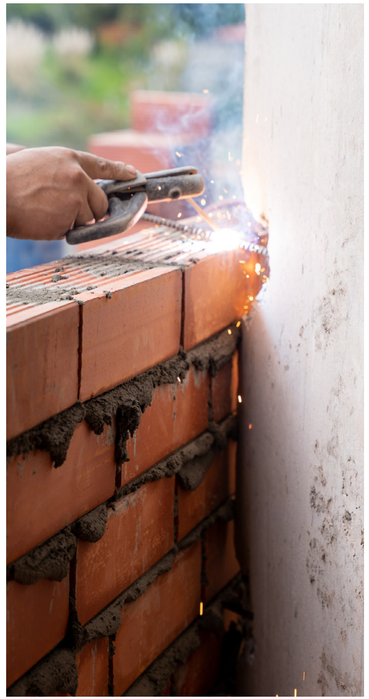


Imagen 06: Proceso constructivo tradicional de mampostería de ladrillo
Fuente: Los Autores

Imagen 07: Vista aérea de la urbanización Los Capulíes en mayo de 2020
Fuente: Los Autores

1.3. Delimitación del problema

El desarrollo sostenible y la eficiencia energética son preocupaciones latentes de la humanidad a día de hoy. Por lo tanto, se demanda reducir el consumo de energía y utilizar materiales mucho menos dañinos para el medio ambiente. Está comprobado que existe una relación directa entre la utilización de combustibles fósiles y su posterior liberación de dióxido de carbono a la atmósfera relacionados con la construcción de edificaciones (Santos, 2017).

De acuerdo a la empresa pública municipal de urbanismo y vivienda EMUVI EP, en la ciudad de Cuenca, es de gran importancia facilitar a los ciudadanos, especialmente a la población vulnerable de escasos recursos económicos, el acceso a una vivienda digna para procurar el desarrollo de una vida de calidad. Es por ello que la empresa genera planes para la construcción de conjuntos habitacionales que ayuden a dar abasto a la demanda social de vivienda.

La calidad constructiva, materiales de baja transmitancia térmica, orientación óptima de la vivienda y el diseño arquitectónico son factores de gran importancia al momento de edificar una vivienda. La carencia de alguno de estos conlleva que las estrategias ambientales pasivas no sean aprovechadas para obtener un mejor desempeño energético de la edificación. Por ende, el confort interior térmico de los usuarios se ve afectado.

Al analizar la urbanización Los Capulíes se nota un emplazamiento muy compacto. Es decir, existe una separación de viviendas mínima. Esta aglomeración con el fin de obtener el mayor uso de suelo impide obtener una ganancia de radiación solar óptima. En la imagen se observa que las viviendas en su gran mayoría presentan su fachada principal hacia una vía peatonal de 5 metros

Imagen 08: Vivienda de estudio emplazada en los Lotes A, B, C y D. Sección vial mínima de 5m para accesos
Fuente: Elaboración propia a partir de los documentos de la EMUVI-EP

de sección en planta baja. Las viviendas están separadas por la vía de acceso teniendo una edificación de igual altura en frente de la otra.

De igual manera la vivienda, cuando se estudia a una escala menor, la unidad habitacional presenta un sistema constructivo de mampostería de ladrillo y estructura de acero. Estos materiales permiten pérdidas de calor significativas debido a la alta conductividad térmica del acero que comunica directamente los ambientes interiores con el exterior. No se cuida con ningún tipo de aislamiento térmico las superficies de acero quedando expuestas a la acción del viento y las variaciones de temperatura. Principalmente en horas donde no se tiene radiación solar.

Los materiales en las carpinterías de ventanas y puertas no se les presta mucha atención cuando de confort térmico se habla, es importante saber que por estos elementos existe altos niveles de infiltraciones de aire, especialmente cuando existe viento ya que el mismo genera presión en las fachadas de las edificaciones (CITEC UBB, 2013). Por ende, es de gran importancia estudiar los componentes óptimos para un mejor desempeño energético integral de la vivienda.

La construcción actual demanda establecer las necesidades reales de los usuarios a fin de encontrarse en confort térmico al interior de las viviendas. Este problema nace de entender a la construcción como un medio de contaminación ambiental que debe ser mitigado. Del mismo modo la calidad constructiva de las viviendas debe estar en óptimas condiciones. El LSF tiene mejor desempeño energético en comparación al sistema constructivo con paredes simples de mampostería y hormigón (Rodrigues et al., 2018). Es por ello que se ve una necesidad urgente de cambiar el método constructivo de paredes de mampostería y estructura de hormigón o acero en viviendas unifamiliares de tal manera que se disminuya el índice del impacto medioambiental construyendo edificaciones de bajo consumo energético y alta calidad constructiva que ayuden al equilibrio entre la construcción sostenible y el uso eficiente de las materias primas involucradas.

Con las simulaciones en Desing Builder que se realizan para esta investigación se pretende obtener los rangos de temperatura interior de las viviendas para estar en confort interior térmico de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción aplicando las estrategias que sean necesarias para el sistema constructivo LSF optimizando el recurso de los materiales en la tipología de vivienda de mayor demanda en la ciudad de Cuenca, viviendas unifamiliares de dos plantas.

Imagen 09: Propuesta de la vivienda unifamiliar de dos plantas con el sistema constructivo LSF
Fuente: Los Autores

1.4. Hipótesis

Utilizando el sistema constructivo Light Steel Framing y acorde a su sección es posible cumplir los estándares de la Norma Ecuatoriana de la Construcción en los parámetros de confort térmico para viviendas unifamiliares de dos plantas en la ciudad de Cuenca.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Evaluar el confort interior térmico de una tipología de vivienda unifamiliar de dos plantas de la EMUVI-EP proyectada con el sistema constructivo Light Steel Framing para proponer la sección constructiva óptima del panel prefabricado aplicado a la ciudad de Cuenca y cumplir los estándares de confort térmico establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

1.5.2. Específicos

1. Identificar y determinar los parámetros y estrategias de confort interior térmico de acuerdo a los estándares establecidos en la norma ecuatoriana de la construcción para viviendas unifamiliares de dos plantas.

2. Aplicar el sistema constructivo Light Steel Framing a una tipología de vivienda unifamiliar de dos plantas de la EMUVI-EP para evaluar el comportamiento interior térmico mediante simulación digital.

3. Analizar los resultados de la evaluación del comportamiento interior térmico para proponer la sección óptima del sistema constructivo Light Steel Framing en una vivienda unifamiliar de dos plantas para la ciudad de Cuenca.

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO

II

Imagen 10: Propuesta de vivienda unifamiliar de dos plantas con el sistema constructivo LSF
Fuente: Los Autores

2.1. Antecedentes históricos

El LSF, (Light Steel Framing), marco de acero ligero por sus siglas en inglés, es un sistema constructivo de concepción racional, cuya principal característica es la de estar constituido por un esqueleto de perfiles de acero laminados en frío. Estos perfiles son utilizados para conformar paneles o marcos tanto estructurales y no estructurales. Además, se utilizan para ensamblar vigas y otros elementos necesarios para la edificación solicitante. La construcción con este sistema constructivo está considerada como un sistema de construcción seco y autoportante (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

2.1.1. Origen del sistema constructivo LSF

A pesar de ser considerada como una tecnología nueva, el origen del LSF se remonta a inicios del siglo XIX (Don Allen, 2006).

Históricamente se comienza a utilizar en las viviendas de madera edificadas por los colonizadores en el territorio norteamericano en esos tiempos. El sistema constructivo LSF hereda la composición de paneles entramados de madera, del sistema plataforma conformado por marcos de madera (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

Varias obras se afirman vagamente como las primeras estructuras con el sistema LSF. Sin embargo, en la Feria Mundial de Chicago en el año de 1933 se presentó por primera vez tres prototipos de vivienda con el sistema constructivo LSF donde se utilizó perfiles de acero galvanizado en lugar de una estructura de madera (Yu, 2016). Las viviendas fueron “General Houses home”, “Armco-Ferro house” y “Good Housekeeping/Stran-steel house” (Cáceres Gaibor, 2018).

Imagen 11: General Houses Home. Vivienda con el sistema LSF en 1933
Fuente: https://bit.ly/2XoKQIa

Imagen 12: Armco-Ferro House. Vivienda con el sistema LSF en 1933
Fuente: https://bit.ly/2XoKQIa

Imagen 13: Stran-Steel House. Vivienda con el sistema LSF en 1933
Fuente: https://bit.ly/2XoKQIa

2.1.2. LSF después de Segunda Guerra Mundial

Para la segunda mitad del siglo XX, después de la Segunda Guerra Mundial, existía la necesidad de reconstruir viviendas destruidas por la guerra. Estados Unidos enfrenta la necesidad de dar alojamiento a las tropas que retornan al país después de la guerra, cuya demanda supera ampliamente la oferta y la capacidad de producción en el país. En 1946 se publica la primera edición de la especificación AISI “Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Members” para el diseño con perfiles de acero de bajo espesor. En 1950 se oficializa la patente de los tornillos autoperforantes (Yu, 2016).

En la década de 1970 una cooperación entre las industrias del acero y el Real Instituto de Tecnología de Estocolmo vio nacer productos y sistemas exitosos y con ello generando un código de diseño para estructuras de acero conformado en frío, el cual ha servido de influencia para el desarrollo de la construcción en seco (Veljkovic y Johansson, 2007).

2.1.3. Siglo XXI, expansión y aceptación del sistema constructivo LSF en el mundo

El uso del sistema constructivo en el mundo está liderado, probablemente, por Estados Unidos donde es necesario, desde 2011 para obtener la acreditación profesional de Ingeniero, rendir un examen elaborado por el Consejo Nacional de Examinadores de Ingeniería y Agrimensura (NCEES) (Lamus Rodríguez, 2015).

Canadá tampoco se queda atrás debido al uso de un manual adecuado para el LSF y la colaboración académica está enteramente ligada a la utilización del sistema. Australia actualmente tiene al LSF como un sistema establecido en el sector residencial de manera muy sólida debido a que su uso viene dándose hace más de 50 años.

Del mismo modo sucede en Europa donde la industria de Luxemburgo es pionera en la exportación del acero liviano a más de 60 países. Se ha llegado a un nivel de optimización alto permitiendo que las viviendas sean mayormente prefabricadas donde el 80% de una casa se construye en 3 días como es el caso de Francia o Japón. China está impulsando la industria para resolver edificios residenciales.

En Latinoamérica la implementación de este sistema es menor en comparación a las grandes potencias. Gracias al excelente desempeño ante sismos y terremotos el uso del sistema LSF está muy extendido en países y regiones donde se padece este problema, como es el caso de Chile, Estados Unidos, Turquía entre otros (Lamus Rodríguez, 2015).

En Brasil, la oferta del LSF, como solución arquitectónica, está experimentando un proceso de desarrollo técnico y la posterior aceptación en el mercado nacional de la construcción (Souza, Amparo, y Gomes, 2011).

Imagen 14: Escantillón de la propuesta de vivienda unifamiliar de dos plantas con el sistema constructivo LSF
Fuente: Los Autores

2.2. Estado de arte

2.2.1. Generalidades

La naturaleza de la construcción ha cambiado en los últimos años para reducir el daño hacia el medioambiente. No obstante, la calidad de vida, las condiciones del bienestar y confort deben garantizarse dentro de los edificios, sin olvidar el diseño y el patrimonio construido (Andrade, Bragança, y Camões, 2016).

Debido al incremento de las edificaciones, tanto residenciales y comerciales, se han realizado estudios sobre las distintas características que comprende el sistema LSF, estudios que continúan expandiéndose a día de hoy en todo el mundo.

Para conocer el desempeño real del sistema constructivo LSF en diversas situaciones han sido necesarias diferentes investigaciones. En esta investigación se analizan los estudios que se enfocan principalmente al desempeño térmico del sistema constructivo. Paralelamente, se ha estudiado el campo del rendimiento estructural ante la actividad sísmica, morfología de las viviendas, consideraciones arquitectónicas para el diseño, las diferentes características físicas y ambientales de la geografía donde se implantan las edificaciones, la calidad de la construcción, entre otras.

2.2.2. Eficiencia energética del LSF

El estudio "Influencia de la inercia térmica del suelo y la ventilación natural en el rendimiento térmico: un estudio de caso de un proyecto residencial con LSF" menciona que las variaciones diarias de la temperatura del ambiente y la capacidad térmica de la edificación son parámetros de control para la ganancia y pérdida de calor. En el caso de la ventilación natural, ésta debe ser controlada ya que la velocidad del viento si es muy alta produce inconfort térmico, aunque la temperatura del ambiente esté dentro de lo aceptado. Además, la dirección y velocidad del viento producen diferencias de temperatura en el aire que ingresa al interior. Por ello el clima influye en la percepción térmica de los usuarios donde existe una relación directa entre el confort térmico y los niveles de las temperaturas interiores y exteriores. Se concluye que el suelo enfría notablemente el interior de las edificaciones y, en el caso del clima cálido, se obtienen resultados que muestran temperaturas más bajas. Un sistema de ventilación adecuado puede mejorar significativamente el rendimiento de la temperatura del edificio, si las condiciones climáticas locales se tienen rigurosamente en cuenta. Igualmente, dependiendo de la topografía del terreno y de las características del diseño, la influencia de la inercia térmica del suelo, cuando se asocia a una buena ventilación junto a las estrategias para controlar la iluminación, es útil para mejorar el rendimiento térmico de la edificación (Souza et al., 2011).

En el estudio titulado "Paredes con LSF: desempeño del aislamiento y puentes térmicos" existen diversas configuraciones de paredes y estas son clasificadas en función de las variables a ser analizadas, y son; separación entre perfiles verticales, espesor del metal y la posición de las capas de aislamiento. Con ello se definen 5 tipologías de pared, que se muestran en la Tabla 01. Se afirma rotundamente que el parámetro más significativo en el aislamiento térmico es el espesor de las capas de aislamiento. Los puentes térmicos del sistema LSF se presentan con diferencia en los perfiles metálicos siendo éstos de 1000 a 1500 veces más conductivos que las capas de aislamiento, concretamente de 50 W/mK frente a 0.04 W/Mk. Al realizar la construcción definitiva de las paredes de la edificación es fundamental el diseño de detalles constructivos que contemplen las pérdidas térmicas, en las juntas estructurales y no estructurales. Además, es necesario señalar que las construcciones con LSF se caracterizan por algunos puentes térmicos puntuales. Se describen las juntas entre perfiles metálicos horizontales y verticales, juntas entre vigas y pilares, entre otros (De Angelis y Serra, 2014).

El estudio denominado "Una metodología integrada al diseño basado en el rendimiento energético para fomentar viviendas con LSF en climas cálidos" en un análisis de 6010 viviendas describe que el aislamiento térmico desempeña un papel fundamental en el ahorro de energía de las edificaciones porque reduce la tasa de transferencia de calor a través de la envolvente del edificio. En los climas fríos los estudios indican que se debe aumentar el aislamiento para reducir la demanda energética por calefacción debido a que el LSF presenta una baja masa térmica. Sin embargo, en los climas cálidos, puede producirse un sofocamiento o sobrecalentamiento haciendo necesaria la utilización de ventilación mecanizada. Por lo tanto, se debe considerar diversas estrategias de ventilación pasiva para ayudar a mejorar las necesidades energéticas de enfriamiento (Rodrigues et al., 2018).

El estudio realizado por (Roque y Santos, 2017) llamado "La efectividad del aislamiento térmico en las paredes con LSF con respecto a su posición dentro del panel" aclara que los perfiles del LSF y las sujeciones metálicas son los puentes térmicos que hay que mitigar debido a su inercia térmica. Las pérdidas y ganancias de calor en estos puentes térmicos por la alta conductividad del acero son relevantes en la envoltura exterior. Se analizaron tres tipos de paredes fría y cálida e híbrida. Esta clasificación obedece a la posición de las capas de aislamiento térmico. Existen fluctuaciones muy grandes entre las tipologías de las tres paredes en la efectividad del aislamiento debido a su posicionamiento dentro de las paredes de las fachadas

Tabla 01: Paredes para los análisis térmicos

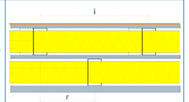
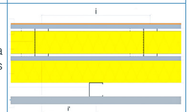
Paredes de LSF para estudio térmico (De Angelis y Serra, 2014)	
1. Marco de LSF simple, capa de aislamiento entre los Studs	
2. Marco de LSF doble, capa de aislamiento entre los Studs exteriores	
3. Marco de LSF doble, capa de aislamiento entre ambos Studs.	
4. Marco de LSF doble, capa de aislamiento entre ambos Studs, aire interior.	
5. Construccion híbrida, capa de aislamiento entre los Studs y al exterior.	

Tabla 02: Tipologías de pared según la capa de aislamiento térmico

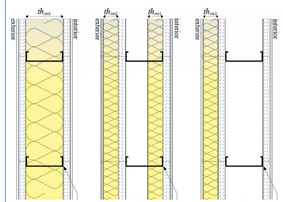
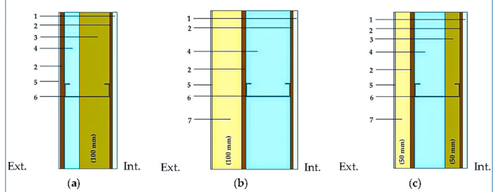
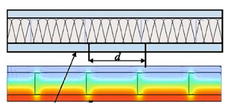
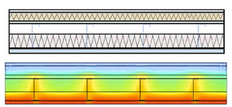
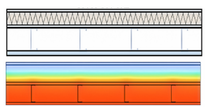
Clasificación de los elementos de construcción de LSF dependiendo de la posición de las capas de aislamiento térmico. Fría, Híbrida y Cálida (Rodrigues et al., 2018)	Configuraciones de paredes para el estudio de los puentes térmicos dependiendo de la posición del aislamWiento térmico. Fría, Cálida e Híbrida (Roque y Santos, 2017)
	
Fría Híbrida Cálida	1- Panel de Yeso cartón. 2- OSB. 3- Capa de aislamiento. 4- Capa de aire. 5- Acabado ETICS. 6- LSF. 7- EPS Espuma de poliuretano expandido

Tabla 03: Puentes térmicos en las distintas tipologías de pared

Efectos de las condiciones térmicas en las configuraciones de paredes. Fría, Cálida e Híbrida (Atsonios et al., 2018)

Pared Fría	Pared Híbrida	Pared Cálida
		

Efecto de los perfiles metálicos en los tres tipos de paredes. Temperatura interior: 20 °C. Temperatura exterior: 5 °C

con una consecuencia directa en el rendimiento térmico, es decir los valores U.

En paredes de fachada de construcción fría, teniendo en cuenta el efecto del perno de acero que perfora la capa de aislamiento conduce a un aumento de la transmitancia térmica (U) de 21,68% a 94,37%. Por lo tanto, el rendimiento térmico general de los muros de fachada de LSF construidos bajo un tipo constructivo híbrida y especialmente la tipología fría puede verse seriamente afectada. Por otra parte, la tipología cálida con la disposición de su capa de aislamiento al exterior, maximiza su rendimiento, lo que lleva a la reducción de la influencia de los pernos de acero a valores insignificantes. En este tipo de construcción, la diferencia máxima calculada de los valores U, tanto el que desprecia al perno como el que si lo considera (U real), es inferior al 1,5. Se debe aplicar una capa continua de aislamiento térmico no perforada. La efectividad de esta estrategia se incrementa a medida que aumenta el espesor del aislamiento y a la no existencia de ruptura térmica. Además, el rendimiento del aislamiento térmico no se reduce debido a los puentes térmicos en el caso de la tipología cálida. Sin embargo, las paredes de las fachadas construidas con la tipología fría pueden requerir grandes cantidades de aislamiento térmico para alcanzar los rendimientos más exigentes (Roque y Santos, 2017). En las Tablas 02 y 03 se observan las tipologías de paredes estudiadas.

En la publicación "Eficiencia energética de edificios con LSF" por parte de (Santos, 2017) se mencionan las consideraciones mínimas para lograr la eficiencia energética de las edificaciones con LSF, aunque pueden ser diversas y dependen de varios factores. Sin embargo, se presenta un resumen donde se indica cómo agrupar los parámetros en conjuntos de cuatro agrupaciones.

El primer factor es el clima, es un factor externo clave con un impacto directo en el comportamiento térmico y la eficiencia energética de los edificios, donde la mayor consecuencia es la climatización interior. Los principales parámetros climáticos son los siguientes: temperatura del aire; radiación solar; humedad relativa; velocidad y dirección del viento; temperatura del suelo; y horas de luz del día. El segundo es la envolvente del edificio, responsable de las principales pérdidas y ganancias de calor solar, es otro factor clave para tener en cuenta el consumo de energía. Algunas de las características más importantes son: coeficiente de forma del edificio, orientación del edificio, hermeticidad, características de los elementos sólidos y translúcidos, masa térmica e inercia térmica y dispositivos de sombreado o control de ganancia de luz. El tercer factor agrupa a los servicios de la edificación. Los más comunes son; iluminación, accesorios, calefacción y refrigeración de espacios, ventilación mecánica, producción de agua caliente, entre otros. Siempre que sea posible se debe utilizar fuentes de energía renovables. El control y la eficiencia de los equipos en uso debe ser lo mejor posible para disminuir el consumo de energía en el edificio. Finalmente, el cuarto y último se hace referencia a los factores humanos. Las personas que pueden contribuir en aumentar o disminuir el consumo de energía. Algunos factores relacionados son el horario de ocupación, el tipo de uso del inmueble y las ganancias internas por el número de ocupantes. El mismo edificio ocupado por diferentes personas puede tener valores de consumo de energía muy diferentes (Santos, 2017).

2.2.3. Eficiencia estructural y sísmica del LSF

En cuanto al comportamiento estructural, la respuesta sísmica de este tipo de edificaciones con LSF el estudio "Rendimiento lateral de LSF en estructuras domésticas" de (Gad, Duffield, Hutchinson, Mansell, y Stark, 1999), concluye que los marcos de acero funcionan muy bien bajo cargas laterales producidas por un terremoto. Los componentes no estructurales, como el revestimiento de placas de yeso, contribuyen significativamente al arriostramiento lateral.

El estudio "Respuesta sísmica e ingeniería del LSF en edificaciones" realizado por (Schafer et al., 2016), analiza con modelos numéricos a bloques completos de edificaciones con este sistema constructivo, viendo la necesidad de analizar el sistema en su totalidad y no solamente los componentes individuales. Existe satisfacción en cuanto a los resultados obtenidos para el modelo analizado debido a que responde satisfactoriamente ante las cargas impuestas.

Los peligros de la construcción tradicional de mampostería confinada, pesada y rígida ante terremotos son evidentes, ya que quedan edificaciones total o parcialmente destruidas luego de un desastre sísmico. En comparación a estos sistemas el LSF posee un alto rendimiento estructural (Landolfo, 2018).

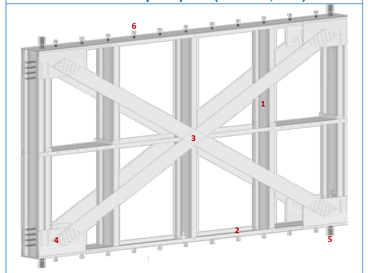
El LSF representa, probablemente, la mejor solución estructural en zonas sísmicas. Se puede diseñar estructuras de disipación simple y disipación moderada. El sistema constructivo puede alcanzar una amortiguación, según el diseño, bastante resistente ante terremotos, así lo respalda las pruebas, simulaciones numéricas y las mediciones in situ (Dubina, 2008). En la Tabla 05 se observan refuerzos diagonales que son uno de los sistemas de arriostramiento más comunes para el sistema LSF.

2.2.4. Respuesta ante el fuego del LSF

Entre los requisitos de seguridad de los sistemas constructivos industrializados está la resistencia al fuego

Tabla 04: Refuerzos estructurales diagonales

Diseño bajo cargas horizontales. Componentes estructurales principales (Landolfo, 2018)



1- Stud. 2- Track. 3- Correas diagonales. 4- Conexiones diagonales. 5- Anclajes de tensión. 6- Anclajes de corte.

Tabla 05: Tipos de sistemas cortafuegos

Manual de muros cortafuegos (BORAL, 2013).

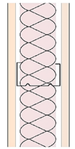
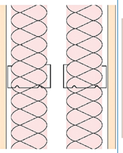
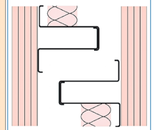
Studs individuales	Studs dobles	D-Stud
		

Imagen 15: Rendimiento del LSF ante un incendio controlado
Fuente: www.nist.gov

de los sistemas estructurales. En caso de incendio, un sistema estructural no debe comprometer la evacuación de usuarios, ni la integridad de los edificios circundantes, mucho menos el trabajo de equipos de rescate. El tiempo mínimo de resistencia al fuego de estos sistemas está en función del tiempo, ocupación y uso del edificio.

El estudio "Comparación de la resistencia al fuego de dos paredes estructurales en Light Steel Framing" menciona que al utilizar paneles RF (resistentes al fuego) de yeso cartón mejora significativamente el comportamiento ante el fuego de este sistema. Se estudiaron los siguientes parámetros: aislamiento térmico, integridad del sistema y estabilidad estructural. Las pruebas concluyen que los paneles RF de yeso cartón responden un 20.3% más en comparación a los paneles estándar. La respuesta de todos los factores analizados muestran que son seguros al fuego hasta 30 minutos con ambos paneles, mientras que los RF alcanzan los 50 minutos (Bolina, Christ, Metzler, Quinino, y Tutikian, 2017).

Las cámaras de aire presentes en los paneles de cerramiento contribuyen a la disminución de la propagación del fuego. Es preciso generar cámaras de aire en las paredes generando sectorizaciones para mitigar las acciones del fuego (Valero, 2013).

Para obtener una resistencia F120 (Resistencia al fuego de 120 minutos) se requiere un mínimo de 50mm de aislamiento térmico con 40mm de espesor por lado en los paneles de del LSF. Se debe elegir los tipos de muros cortafuegos para el sistema LSF, existen tres y de detallan a continuación (BORAL, 2013).

Las paredes individuales tienen Studs forrados a ambos lados con paneles de yeso cartón. La clasificación del fuego dependerá de la cantidad de capas de placas de yeso fijadas al Stud. Las paredes generalmente no soportan carga, pero pueden diseñarse para transportar cargas axiales. Las paredes de dos Studs forrados en un solo lado con placas de yeso cartón. La clasificación del fuego dependerá de la cantidad de capas de placas de yeso fijadas a los Studs. El tamaño de los pernos dependerá de las cargas de diseño anticipadas y debe ser determinado por un ingeniero estructural. Y las paredes D-Stud no soportan carga y pueden usarse donde se requiere un mayor rendimiento acústico.

Universidad de Cuenca

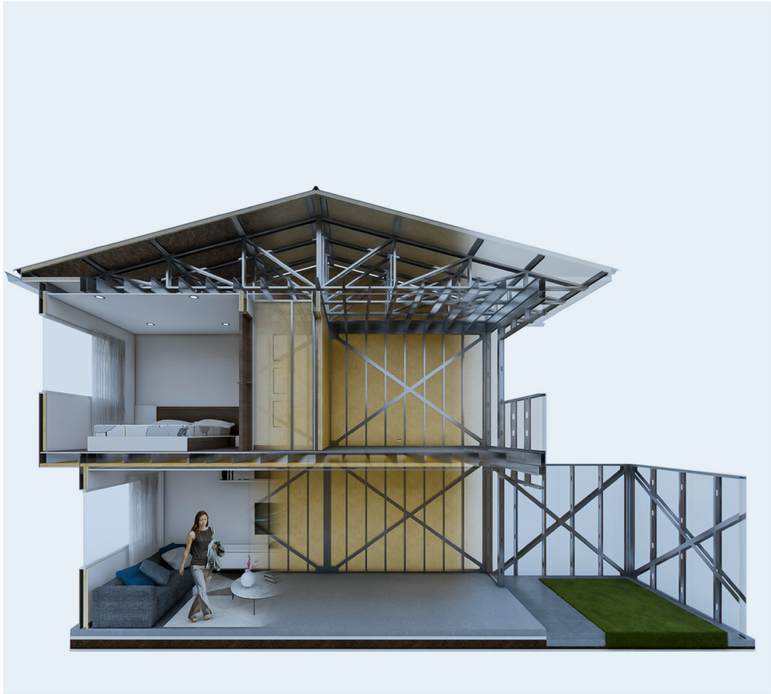


Imagen 16: Propuesta de estudio adaptada al sistema constructivo LSF
Fuente: Los Autores

2.3. Sistema constructivo LSF

2.3.1. Características del sistema constructivo LSF

El acero laminado en frío o "Cold Formed Steel" (CFS), por sus siglas en inglés, es el resultado de un proceso por el cual se moldean perfiles conocidos como Track o Stud. Estos perfiles sometidos a un proceso de galvanizado conforman el sistema constructivo LSF. Hoy en día es uno de los sistemas constructivos más utilizados en la construcción residencial y no residencial (Yu, 2016).

En los perfiles denominados estructurales los espesores del acero varían entre 0,8 y 3,2 mm. Estos son utilizados para vigas de entrepisos, techos y marcos estructurales. Por otra parte, en los componentes no estructurales su espesor llega a 0,4mm (Pérez Toribio, 2013).

La relación peso-resistencia es favorable permitiendo secciones pequeñas. Ante cargas horizontales, el comportamiento de la edificación es excelente. El peso de la estructura final es considerablemente menor en comparación a una estructura de mampostería tradicional. Debido a estas características la estructura se comporta muy bien ante una actividad sísmica. Además, permite un ahorro importante en materiales. El funcionamiento mecánico del sistema LSF está basado en dividir la estructura en una gran cantidad de elementos, de modo que cada uno resista una porción de la carga total de la edificación. Por ende, es posible modular y prefabricar componentes más livianos y fáciles de manipular. Así, una pared se convierte en los tabiques estructurales que soportan las diferentes cargas que solicita la edificación (Valero, 2013).

2.3.2. Aplicaciones y métodos de construcción

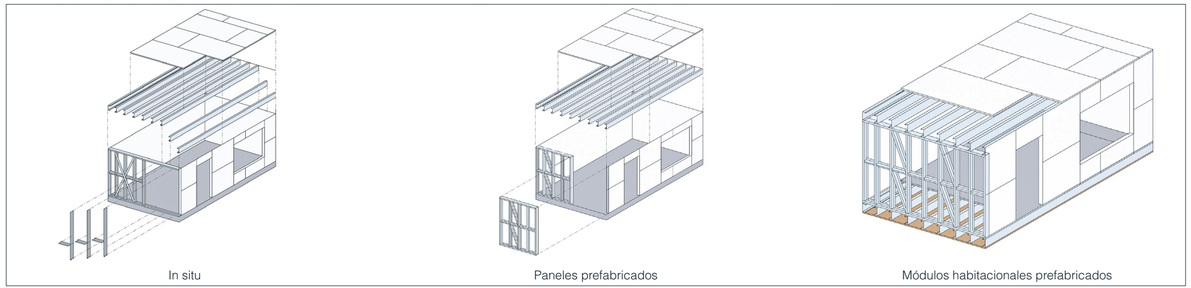


Imagen 17: Métodos constructivos del sistema LSF
Fuente: (Yandzio et al., 2015)

Las aplicaciones son diversas, entre las cuales se encuentran las residencias unifamiliares, edificios residenciales y comerciales de hasta cuatro pisos, hoteles, hospitales, instituciones educativas, unidades modulares, actividades de remodelación, entre otros (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

Los métodos de construcción se pueden clasificar esencialmente en tres tipos. El primero es el método de fabricación en obra. El segundo es el método por paneles prefabricados y finalmente la construcción modular (Yandzio, Lawson, y Way, 2015).

En el primer método es el de fabricación en obra todas las actividades de ensamblaje y montaje de los componentes son realizados en el sitio donde se implantará la edificación definitiva. Normalmente los perfiles poseen perforaciones para el paso de las instalaciones. Sin embargo, todos los componentes y subsistemas son instalados una vez la estructura está finalizada. Con este método no hay necesidad que el constructor tenga un lugar de prefabricación del sistema. Existe facilidad de transporte de los componentes y las uniones de los elementos son de fácil ejecución. El segundo método constructivo está conformado por paneles prefabricados ya sean estructurales y no estructurales pueden ser ensamblados en talleres o industrias donde los principales subsistemas son previamente instalados, incluidos los elementos de arriostramiento estructural y los componentes de los diferentes cerramientos, antes del montaje en el sitio de construcción. Esto reduce el tiempo de construcción. Con este método existe rapidez de montaje, alto control de calidad en la producción de los sistemas, minimización del trabajo en la obra, mayor calidad y márgenes de error despreciables. Finalmente, La construcción modular es el último método, el cual es un proceso completamente prefabricado. Se instala en el sitio de la obra con todos los acabados internos, revestimientos, todos los equipos e instalaciones. Se pueden prefabricar todos los módulos necesarios para construir edificaciones en masa, disminuyendo considerablemente el tiempo de construcción (Yandzio et al., 2015).

2.3.3. Ventajas y desventajas del sistema LSF

Desde 1933 que se presentaron los primeros prototipos de viviendas con LSF en la feria mundial de Chicago existen ventajas, así como déficits del sistema constructivo encontrados a través de experimentación y simulación.

En materia de construcción los productos son estandarizados de tecnología avanzada y deben pasar por rigurosos procesos y controles de calidad. Se permite la utilización de casi cualquier tipo de revestimiento ya sea para la terminación exterior e interior. Facilita, a través de las capas que conforman la pared, la colocación de

Tabla 06: Comparativa de sistemas constructivos (Capdepon, 2014).			
No.	Ventaja	LSF	Sistema tradicional de mampostería confinada
1	Rapidez de obra	•	
2	Uso de equipos pesados	•	
3	Menores riesgos de accidentes	•	
4	Resistencia estructural	•	•
5	Limpieza de obra	•	
6	Aislamiento térmico y acústico reducido espesor de muros	•	
7	Remodelaciones y amplificaciones simples, rápidas y limpias	•	
8	Resistencia al fuego	•	•
9	Adecuado comportamiento ante sismos	•	
10	Durabilidad	•	•
11	Posibilidad de construir sótanos y subsuelos	•	
12	Facilidad de mantenimiento	•	•
13	Posibilidad de construir en altura	•	•
14	Acceso a créditos bancarios	•	•

aislamientos e instalaciones con los perfiles perforados previamente y la utilización de los paneles de yeso cartón facilitan las instalaciones eléctricas e hidráulicas (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

La resistencia de carga lateral debido a la ductilidad del material que responde favorablemente absorbiendo las cargas producidas por el suelo y los vientos fuertes. El sistema presenta mayor relación resistencia peso debido a los pliegues de los perfiles que refuerzan mecánicamente el acero liviano. Las estructuras con armazón de acero no se queman ni contribuyen a la propagación o intensidad de un incendio (Yu, 2016).

El sistema es ligero por lo cual el ahorro del costo del transporte es significativo y el montaje trae consigo rapidez y facilidad. Históricamente el costo en general es menor en comparación a otros sistemas de construcción. Gracias a la maquinaria especializada y la industria es posible la producción en masa. El producto final es duradero ante plagas por la hermeticidad. Es termoacústico, el sistema es completamente reciclable y de bajo mantenimiento. La corrosión puede ser un inconveniente serio si no se tiene en cuanta el factor climático donde se implanta la edificación. La corrosión galvánica en la estructura LSF puede producirse al contacto con otros metales si no se tiene cuidado. Por lo tanto de debe cuidar el contacto entre materiales que no estén aislados o galvanizados (Valero, 2013).

La cultura de la construcción tradicional de mampostería confinada puede ser una dificultad. Este factor social es una desventaja para la popularización del sistema LSF ya que la percepción sicológica es la de un sistema ligero y se puede ver como inseguro, deficiente o débil por el desconocimiento de sus propiedades y características. El coste real de las edificaciones con LSF en países donde se empela poco, normalmente es mayor que la construcción tradicional, más aún con la mano de obra que no sea especializada.

En cuanto al rendimiento energético, el principal déficit, según (De Angelis y Serra, 2014) y (Roque y Santos, 2017) está en los puentes térmicos por la naturaleza del acero que presenta una elevada conductividad. La inercia térmica es muy baja dado que el sistema es muy ligero, pero se puede solucionar con materiales complementarios.

2.3.4. Componentes del sistema constructivo LSF

El sistema LSF es capaz de integrar todos los componentes necesarios para construir una edificación en su totalidad. La estructura del LSF está básicamente compuesta por pisos, paredes y techos, que en conjunto posibilitan la integridad del edificio, con la debida resistencia a los esfuerzos a los que está expuesta la estructura. En la publicación "Steel Framing: Arquitectura" se especifican los componentes del Sistema LSF en detalle (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

La construcción de la cimentación se realiza de manera convencional. La cimentación debe ser continua y en ella debe quedar apoyada toda la superficie de los paneles. Se debe proteger los componentes del LSF con aislamiento ante la humedad. El tipo de anclaje a utilizar para unir la cimentación con la estructura dependerá del tipo de cargas a las que esté sometido el edificio, a las condiciones climáticas, y los movimientos sísmicos de la zona, los anclajes que se utilizan son; químicos, anclajes mediante pernos y otros dependiendo de las consideraciones estructurales.

Los paneles en el sistema LSF se pueden clasificar en paneles estructurales y paneles no estructurales conocidos como tabiques divisorios. Los paneles son creados a través de perfiles metálicos galvanizados tipo C llamados montantes o Stud, y un perfil metálico galvanizado tipo U, llamado solera o Track, que une los montantes en sus extremos superior e inferior, el entramado metálico conforma la estructura principal (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

Es necesario agregar refuerzos a la estructura del panel para que sean capaces de absorber estas cargas laterales sísmicas. Lo más recomendable es generar una cruceta de arriostre para rigidizar los paneles. La separación entre los montantes, normalmente es de 0,60m y 0,80m. En todo caso, la distancia dependerá de las solicitaciones del edificio. Mientras menor sea la distancia entre montantes, menor será el peso que va a resistir cada perfil, y a su vez, mejor rendimiento estructural (Pérez Toribio, 2013).

Entre los materiales aislantes más comunes que acompañan a la configuración de los paneles divisorios y paredes portantes están; la EPS conocida espuma flex, la lana de vidrio o lana de roca. Finalmente, se coloca el acabado final. Para Conformar el panel, según el AISI (American Iron and Steel Institute) y NASFA (North American Steel Framing Alliance) el espesor de las placas de cerramiento exteriores debe ser mínimo de 12mm y de las placas de yeso cartón utilizadas para interiores de 12,5mm (Carpio Toral, 2014).

Los productos más comunes para el cerramiento son; OSB (Oriented Strand Board) que pueden ser utilizadas en interiores y exteriores. Sus propiedades de resistencia mecánica posibilitan su uso estructural, por ello, las juntas deben presentar 3 mm entre las ellas en todo el perímetro. Las juntas verticales siempre deben estar sobre los montantes y atornilladas esto genera rigidez al sistema ante cargas sísmicas. En cuanto a las placas de fibrocemento existen varios espesores; las de 6 mm pueden aplicarse a tabiques livianos y paredes secas interiores. Las placas de 8 mm de espesor son para tabiques livianos, paredes interiores y exteriores, áreas secas y húmedas. Las de 10 mm son utilizadas para áreas secas y húmedas, interiores y exteriores. Los productos de Yeso-Cartón normalmente se utilizan en interiores. Las placas son livianas ya que no tienen una función estructural. Existen generalmente las placas standard (ST) para ser aplicadas a paredes de áreas secas. La placa resistente a la humedad (RH), también conocida como placa verde y la placa resistente al fuego (RF), conocida como placa rosa, es aplicada en áreas secas, en paredes con exigencias especiales de resistencia al fuego (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

Un entrepiso emplea el mismo principio de los paneles verticales, perfiles galvanizados cuya separación equidistante de los elementos estructurales o modulación está determinada por las cargas a que cada perfil está sometido. No es recomendable cortar el ala de un perfil que actúa como viga. Normalmente, para aplicaciones habitacionales se recomiendan luces de hasta 4,0 m, para el uso de perfiles C 200x40x0,95. Esto es, perfiles con altura de alma de 200 mm, ala de 40 mm y espesor de 0,95 mm. Sin embargo, la definición de las viguetas debe ser por cálculo según las cargas aplicables. Para luces mayores, cuando las exigencias del proyecto no permiten el uso de paneles intermedios de apoyo, se puede reforzar las vigas de entrepiso, a través de una combinación con otros perfiles, formando así vigas del tipo cajón, o se puede utilizar una viga principal la cual sirve de apoyo de las vigas de entrepiso (Freitas y Moraes de Castro, 2007).

Las estructuras de escaleras son construidas con la combinación de perfiles U y C, normalmente los mismos que se usan en los paneles. Para conformar los peldaños y contrahuellas, lo más usado son paneles rígidos, tales como placas de OSB o planchas de madera maciza atornilladas en la estructura. Otro recurso del medio sería el panel de fibrocemento.

La cubierta está compuesta de dos partes principales la primera hace referencia al recubrimiento, mismo que puede ser de materiales diversos, siempre que sean impermeables a las aguas lluvia y resistentes a la acción del viento y la intemperie. Y la segunda donde la estructura corresponde al conjunto de elementos estructurales destinados a la sustentación de la cubierta (Freitas y Moraes de Castro, 2007). Los tipos de cubiertas inclinadas comunes pueden ser Cabriada Pratt, Cabriada Fink, Cabriada Alemana, Cabriada Belga.

Un muro cortafuegos está definido como un elemento cuya función principal es la de retrasar la acción del fuego en caso de incendios y evitar la propagación del mismo a construcciones adyacentes. La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) en Chile, país donde el LSF está más extendido en comparación con Ecuador, menciona que el uso de este tipo de elementos es obligatorio en todas las construcciones. De acuerdo al tipo de edificios, la resistencia al fuego varía de F120 a F180. El factor (F), acompañado de un número, es el tiempo en minutos que resiste un material ante la acción del fuego directo. Por lo tanto, un panel F120 resiste 2 horas ante el fuego y el panel F180 soporta 3 horas. En el caso específico de las viviendas adosadas se exige para los muros de adosamiento que estos sean continuos, no estructurales, y no inflamables. Que comiencen en la cimentación de la edificación y se prolonguen 0.5m por encima de la cubierta más alta.

Imagen 18: Aislamiento termoacústico en la propuesta de estudio con el sistema constructivo LSF
Fuente: Los Autores

2.4. Confort interior térmico

2.4.1. Consideraciones generales

La arquitectura es la que debe brindar las condiciones adecuadas para el usuario y su relación con el entorno. Con esta premisa las soluciones arquitectónicas deben ser capaces de apropiarse del territorio, incorporar factores climáticos y trabajar con ellos para lograr el confort ambiental para el hábitat de los ocupantes. Se entiende por confort ambiental al conjunto de condiciones ambientales aceptadas por las personas para el desarrollo de sus actividades habituales, aclarando que depende de factores, fisiológicos, culturales y psicológicos por parte de los usuarios (Espinosa Cancino y Cortés Fuentes, 2015).

La importancia del confort térmico se sustenta en que está asociado a una mejor calidad de vida de las personas, tiene efectos positivos en la salud mental, fomenta mejores prácticas de relaciones humanas, así como una mayor autoestima para la familia. Así mismo, el confort térmico en una vivienda saludable no solo tiene que ver con la temperatura lograda. El confort térmico tiende a un enfoque integral que contempla la conservación del calor, la ventilación adecuada de los espacios, el aprovechamiento de la energía solar, el diseño de la vivienda, el control de la humedad interna, entre otros factores, más aun, cuando se trata de climas adversos (Harman, 2010).

Un estudio centrado únicamente en el confort térmico denominado “Comportamiento y confort térmico de vivienda en la Ciudad Rural Sustentable Nuevo Juan Del Grijalva, Chiapas, México” determina que la premisa de las personas es la tendencia a adaptarse a las condicionantes climáticas que ellos experimentan. Además, los diferentes estudios relacionados con el confort térmico, descritos en el estado de arte, buscan que los ocupantes estén cómodos y a gusto dentro de los distintos espacios sin que se vea comprometido, en medida de lo posible, un gasto energético por conceptos de climatización al interior de las edificaciones (Castañeda Nolasco, Ruiz Torres, y Jiménez Albores, 2013).

EL sistema LSF puede igualar las capacidades térmicas del sistema tradicional de mampostería a pesar de los puentes térmicos causados por la perfilería de acero considerando un adecuado aislamiento térmico y la correcta aplicación de las estrategias de mitigación, ya mencionadas con anterioridad, obteniendo así una sección que mejora el rendimiento energético del panel para brindar confort interior en las edificaciones. Sin embargo, el sistema tradicional de mampostería presenta mejores condiciones de inercia térmica debido a la condición propia de la materialidad, en especial la de ladrillo (Roque y Santos, 2017).

2.4.2. Marco normativo nacional

En Ecuador se ha cumplir la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Concretamente la “NEC 11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador” es la encargada de establecer los parámetros de confort térmico y acústico que regulan las construcciones de edificaciones. En la normativa se establece que el bienestar térmico consiste en la ausencia de la sensación de incomodidad o malestar térmico en determinado ambiente. Por lo tanto, el confort térmico refiere a una sensación neutra respecto de un ambiente. Es decir, la satisfacción en el ambiente térmico percibido. Debido al incremento del gasto energético que se ha incrementado en el país. Se aclara que para el año 2020, para reducir la tendencia de consumo es necesario cambiar las formas

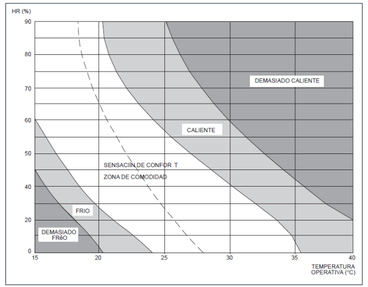


Imagen 19: Curvas de confort térmico para Ecuador
Fuente: (MIDUVI, 2011)

de construcción en el país con el fin de reducir el consumo de energía durante la operación de la edificación (MIDUVI, 2011a).

Para que exista confort térmico, las edificaciones deben mantenerse dentro de los siguientes rangos: Temperatura del aire ambiente: entre 18 y 26 °C. Temperatura radiante media de superficies del local: entre 18 y 26 °C. Velocidad del aire: entre 0,05 y 0,15 m/s. Humedad relativa: entre el 40 y el 65 %. Estos valores pueden ser variados siempre y cuando se demuestre mediante un estudio técnico que el conjunto de variables mencionadas anteriormente se encuentra dentro de los rangos de confort del diagrama de Fanger.

El confort acústico se vincula a la comodidad de una persona ante los ruidos del entorno. Siendo que el sonido alto afecta principalmente a la audición y al sistema nervioso. El confort se define como la comodidad frente a los ruidos. En el diseño y la construcción de una edificación se debe considerar dos parámetros. El primero es el aislamiento acústico, el cual refiere a los materiales usados para impedir que el ruido sea molesto. El segundo es el acondicionamiento acústico que se refiere a la calidad superficial de los materiales. La norma establece los rangos de confort acústico según los niveles de decibelios. Concretamente para actividades de vivienda, estudio, dormitorios, bibliotecas, hoteles, el nivel sonoro debe estar por debajo de los 50 dB. Las aulas en 55 dB, las oficinas en 60 dB, los locales y recintos comerciales en 70dB.

El confort lumínico es la iluminación dentro de una edificación. Deberá ser realizada de modo que se permita satisfacer las exigencias mínimas tomando en cuenta los siguientes criterios: Confort visual, que permita mantener un nivel de bienestar sin que se afecte el rendimiento ni la salud de los ocupantes. Prestación visual, mediante el cual los usuarios sean capaces de realizar sus tareas visuales, incluso en circunstancias difíciles y durante largas jornadas de tiempo. Seguridad, a través de la utilización de equipos normalizados y eficientes. Los sistemas de iluminación deberán cumplir con lo establecido en la norma ISO 8995-1.

En materia de normatividad internacional existen códigos y manuales que son implementados en diferentes países alrededor del mundo. Entre los organismos rectores del acero laminado en frío se encuentran: “Gauge Steel Engineers Association (USA)”, “Steel Framing Alliance (USA)”, “National Association of Steel Housing (Australia and New Zealand)”, “AISI/Committee on Framing Standards (USA), Steel House Club (Korea)”, “World Steel Association (USA)” y la “South African Steel Framing Association”.

Imagen 20: Vista de la urbanización Los Capulíes. Entorno climático de la vivienda de estudio
Fuente: Los Autores

2.5. Condiciones del entorno físico

Para el diseño o reforma sustancial de una edificación se debe realizar un análisis del entorno social, cultural, geográfico, de vegetación, climatológico (vientos, precipitaciones, temperaturas, humedad relativa), patrimonial, histórico y ancestral sobre la pertinencia de la edificación en cuestión, respetando además, las normas urbanísticas de uso de suelo y reglamentaciones u ordenanzas de construcción locales (MIDUVI, 2011a).

Es importante para el buen desarrollo de la eficiencia energética que las condiciones del lugar de implantación sean atendidas para que las edificaciones sean de carácter sostenible. Dentro de este apartado las condiciones climáticas son de importancia fundamental para brindar un óptimo confort interior térmico.

2.5.1. Zonas Climáticas

Las zonas climáticas determinan el entorno natural para el diseño de una edificación. Con datos climatológicos propios, el INAMHI ha desarrollado un mapa de isotermas del país. El mapa divide al país en 6 zonas climáticas diferentes de acuerdo a los criterios térmicos establecidos en la norma ASHRAE 90.1 (MIDUVI, 2018).

La clasificación de las zonas climáticas y su criterio térmico se encuentran en la Tabla 07. La ciudad de Cuenca está ubicada en la Zona Climática 3 - Continental Lluviosa, de acuerdo a la clasificación del gobierno nacional del Ecuador. La ciudad se encuentra a 2560 metros sobre el nivel del mar (MIDUVI, 2018). Las características de la zona climática mencionada son; clima templado con una temperatura media mensual entre 14°C y 18°C. Se presenta una humedad relativa media entre 59% y 66%. Está caracterizada, principalmente, por tener lluvias abundantes, granizadas frecuentes. Una característica muy importante es la de ser el piso climático más poblado del Ecuador, dentro de este se encuentran las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja (MIDUVI, 2011a).

Dentro de esta zona climática se recomienda que las principales fachadas de las edificaciones estén orientadas en dirección Este a Oeste debido a que se maximiza la ganancia de radiación solar en las mañanas y las tardes. Además, se evita el sobrecalentamiento aprovechando la ventilación natural. Se aprovecha el recurso natural de iluminación y ventilación que brinda confort interior a los usuarios.

Las condiciones climáticas son constantes durante todo el año. De tal manera, se puede aprovechar un aislamiento térmico homogéneo y constante donde las fluctuaciones de los puentes térmicos no son tan significativas como es el caso de climas más severos con variaciones de temperaturas extremas.

2.5.2. Consideraciones de implantación

Según la NEC "Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales" las exigencias de diseño son: orientación de la edificación, ganancia y protección solar, ventilación y calidad de aire e iluminación. Para las exigencias de diseño se orientará la edificación de acuerdo a las necesidades de ganancia o protección solar y de ventilación, calidad de aire y aislamiento acústico.

Para efectos térmicos, en las zonas climáticas 1, 2 y 3 se recomienda que las fachadas principales tengan orientaciones Este y Oeste ya que maximizan la ganancia solar directa en la mañana o en la tarde. Por el contrario, en las zonas climáticas 4, 5 y 6 se recomienda las orientaciones Norte y Sur ya que evitan exposición directa solar en la mañana y en la tarde y son susceptibles de manera fácil de ser protegidas de la insolación de mediodía.

Tabla 07: Referencia para zonificación climática (MIDUVI, 2018).

Zona climática (Ecuador)	Zona climática (ASHRAE 90.1)	Nombre	Criterio térmico
1	1A	Húmeda muy calurosa	5000 < CDD10°C
2	2A	Húmeda calurosa	3500 < CDD10°C ≤ 5000
3	3C	Continental lluviosa	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000
4	4C	Continental templado	2000 < HDD18°C ≤ 3000
5	5C	Fría	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 3000 m < Altura (m) ≤ 5000 m
6	6B	Muy fría	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 5000 m < Altura (m)

La importancia de una correcta orientación en la arquitectura es muy importante ya que de esta dependen los niveles de confort interior gracias a la radiación solar sin recurrir a soluciones artificiales. La utilización de luz artificial durante el día, debido a una deficiente orientación, no genera un ahorro de recursos económicos para el usuario. Así mismo, se pierde la ganancia térmica que se puede obtener mediante la captación solar. Esta consideración muestra que la orientación adecuada en función del uso de la edificación debe estar por encima de la propia necesidad del usuario o constructor con el fin de aprovechar el espacio dentro de un predio. La ganancia de energía solar de manera pasiva es un recurso energético que beneficia al planeta ya que con una adecuada orientación de la vivienda se podría disminuir significativamente el consumo de energía artificial.

Con las condiciones climáticas se deben valorar las condiciones constructivas de diseño al momento de realizar el diseño de una edificación o conjunto de edificaciones. Se debe considerar el criterio formal, dado que la superficie exterior es un indicador de las pérdidas y ganancias de calor con relación al ambiente, mientras el volumen contiene la cantidad de energía del edificio. La ganancia y protección solar con el nivel de asoleamiento a través de las superficies vidriadas y de la envoltura de la edificación, en un criterio que determina la ganancia térmica dentro de cualquier edificación. Finalmente, la selección de los materiales de construcción para una edificación, se debe tomar en cuenta la energía incorporada, sus propiedades térmicas, acústicas, químicas y la disposición final o reutilización de los mismos (MIDUVI, 2011a).

Imagen 21: Esquema de la vivienda de estudio, imagen conceptual de la vivienda adaptada al sistema LSF
Fuente: Los Autores

2.6. Simulación digital en proyectos arquitectónicos

Los sistemas de simulación energética en la arquitectura permiten analizar la calidad y demanda energética de las edificaciones. Sin embargo, para garantizar los resultados deseados se deben contar con procedimientos fiables y pertinentes (García Alvarado, González, Bustamante, Bobadilla, y Muñoz, 2014). La simulación digital empezó después de la crisis del petróleo de la década de los 70s del siglo pasado. Actualmente, gracias al procesamiento matemático de los computadores y con el desarrollo de la tecnología informática, existen herramientas digitales que permiten el análisis de las condiciones físicas reales de las edificaciones (García Alvarado et al., 2014).

La implementación de la informática en el campo de la arquitectura ha seguido un proceso cronológico empezando por el cálculo de estructuras, el dibujo asistido por computador CAD, luego el modelado BIM. Finalmente, cálculos y simulaciones térmicas, lumínicas, entre otros (Calzada, Antonio, Paredes, y Matías, 2014).

2.6.1. Design Builder con EnergyPlus y su aplicación en el campo arquitectónico

Building Energy Modeling (BEM), por sus siglas en inglés se define como el software de simulación basado en la física del uso de energía en edificios. Design Builder es una herramienta BEM especializado en la simulación digital de alta calidad que ayuda a evaluar el desempeño ambiental y energético de edificaciones nuevas y existentes. Las avanzadas prestaciones del software permiten que los profesionales puedan evaluar los niveles de confort, consumo de energía y emisiones de carbono de la edificación. Esta solución proporciona un análisis de rendimiento integrado que incluye: energía y comodidad, HVAC, iluminación natural, costo, optimización de diseño, CFD, créditos BREEAM / LEED e informes de construcción y estándares de certificación.

Design Builder integra estrechamente el motor de cálculo Energy Plus dentro de su entorno haciendo posible la simulación definiendo el modelo del edificio y dejando al motor de simulación realizar los cálculos. Para ello el software incorpora bases de datos completas de materiales, cerramientos, vidrios y dispositivos de sombreado (Calzada et al., 2014). Es uno de los programas con mayores capacidades. Dentro de este grupo, estas herramientas se distinguen por su mayor nivel de detalle en la modelación, descripción de equipamientos, horarios, archivos climáticos, diversidad de análisis, comprobación de normativas y relación con otras soluciones de software. Tiene una buena asistencia, modificación de datos y representación de resultados. Posee un precio comercial más alto, puede requerir mayores equipos y conocimiento especializado, más antecedentes y tiempo de trabajo (García Alvarado et al., 2014).

Las simulaciones se pueden ejecutar para varios años, ejecutar múltiples simulaciones en paralelo en una o varias computadoras, mejorando la precisión de los resultados en modelos que involucran una elevada masa térmica, como los intercambiadores de calor geotérmicos.

En el campo arquitectónico Desing Builder se usa para evaluar el desempeño de las edificaciones en modo pasivo y también aquellas que cuentan con sistemas de climatización. Se utiliza ampliamente las simulaciones digitales cuando se precisa obtener el valor y comportamiento de alguna característica propia del edificio. Los beneficios de una simulación son diversos. Por citar algunos, ahorros económicos en el consumo de energía y en el coste de instalación. Calcular el confort interior. Disminución de emisiones de dióxido de carbono CO2 y de gases invernadero. Mayor sostenibilidad energética. Mejora del rendimiento energético del edificio, entro otros (Calzada et al., 2014).

Otro ejemplo donde se usa Desing Builder es el estudio "Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro-sur de Chile" donde se realiza un análisis de varias viviendas con diferentes configuraciones en su morfología ya que este parámetro incide en el desempeño energético, la forma de una vivienda ofrece variaciones de temperatura debido a su diversa configuración, contigüidad y altura en relación a una menor demanda energética. (García Alvarado y Gonzalez, 2014).

2.6.2. Therm

El software Therm, actualmente en su versión 7.1, desarrollado por Lawrence Berkeley Nacional Laboratory (LBNL) por sus siglas en inglés analiza la transición de calor Bidimensional a través de las secciones o elementos constructivos.

La metodología de cálculo se basa en la utilización de polígonos que representan las secciones transversales de las partes que componen la sección constructiva. Por lo tanto, a cada polígono se le define las propiedades físicas de los materiales a los cuales hace referencia. Así mismo se introducen las condiciones ambientales a partir de la definición de las condiciones de contorno que rodean a la sección transversal (Campos, 2016). Las condiciones de contorno son independientes una de la otra. De tal manera en el contorno interior de la sección de una pared puede tener una temperatura distinta a la del contorno exterior, como sucede en la vida real.

Therm permite analizar las secciones constructivas con mayor profundidad y genera información detallada para entender el comportamiento energético y los cambios de temperatura con mayor profundidad. Los cambios de temperatura de observan detalladamente bajo diferentes visualizaciones que genera la herramienta. Sin embargo, su aporte más importante es la de facilitar los valores reales del flujo de calor y la transmitancia térmica en cualquier parte de una sección constructiva, teniendo así datos reales de la configuración y rendimiento térmico de los materiales involucrados en la sección que se esté estudiando.

Therm es una herramienta que complementa de manera muy positiva y acertada a Desing Builder. Por lo tanto, (De Angelis y Serra, 2014), (García Alvarado et al., 2014), (Atsonios, Mandilaras, Kontogeorgos, y Founti, 2018), (Roque y Santos, 2017), entre otros utilizan este software para el análisis térmico de sus investigaciones.

2.6.3. Proceso de simulación energética

En los sistemas de simulación energética se deben indicar los parámetros y características de los edificios. Con esta información se calculan las transferencias térmicas. De tal manera, se obtienen resultados específicos que se analizan de diferentes maneras. Se necesita la información de las condiciones climáticas del lugar, forma de las edificaciones, entorno del edificio, materialidad, instalaciones y patrones de ocupación. Con base en dicha información se efectúan procesamientos matemáticos que indican las condiciones ambientales interiores de temperatura, humedad, calidad del aire, emisiones de CO2 y demandas energéticas, características de radiación solar, iluminación natural, conducciones térmicas, circulación de aire, ciclo de vida de materiales o certificación ambiental (García Alvarado et al., 2014).

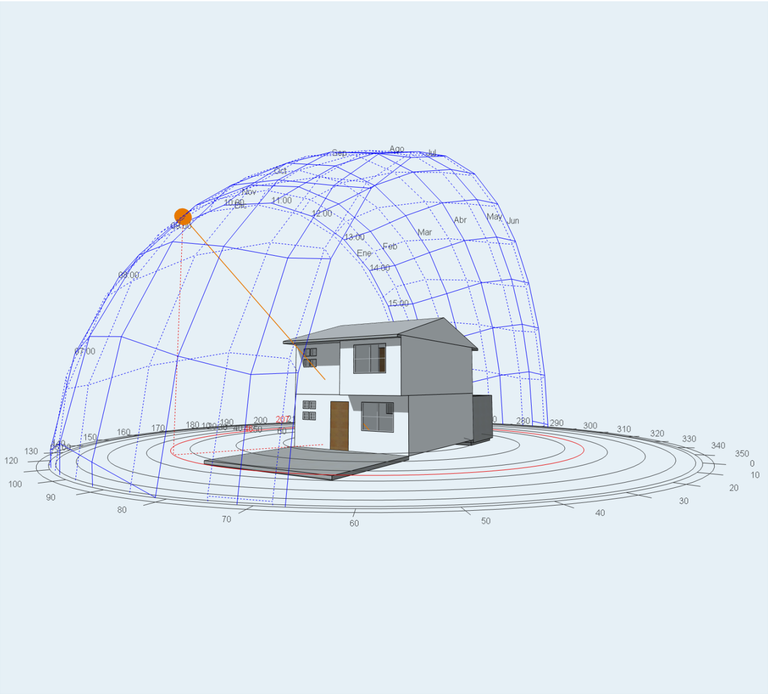


Imagen 22: Modelo digital de la vivienda de estudio del proceso de simulación en Desing Builder
Fuente: Los Autores

2.7. Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados en la investigación con el sistema constructivo LSF y tomando como referencia los estudios analizados, normativas nacionales vigentes, experiencias y recomendaciones de los autores consultados se plantea el desarrollo de la investigación por fases bajo las siguientes acciones.

En una primera fase se establecerán criterios parámetros y características que estén en relación con el sistema constructivo LSF y que influyan directamente en el confort térmico de los usuarios. Así mismo, se establecerán las condiciones climáticas del entorno de la ciudad de Cuenca.

En la segunda fase se elegirá una vivienda unifamiliar de dos plantas, ubicada en la ciudad de Cuenca, que esté construida con el sistema tradicional mixto de mampostería de ladrillo y estructura de acero que cumpla las características de la tipología de vivienda de mayor construcción en el país. Con esta selección se procederá a realizar un modelo digital de la vivienda en su estado actual. Del mismo modo, se planteará un segundo modelo digital adaptado al sistema constructivo LSF. Ambos modelos serán digitalizados con el mismo diseño arquitectónico para un posterior análisis térmico en Desing Builder.

En una tercera fase se procederá al análisis de confort interior térmico de los dos sistemas constructivos utilizando la herramienta digital Desing Builder en su versión 6.0, que incluye el motor de cálculo de EnergyPlus versión 8.9. El análisis virtual se realizará en cuatro etapas de simulaciones para las viviendas de estudio. Para esto se procederá con lo siguiente:

a. Determinar y clasificar los parámetros de incidencia térmica en la edificación en las siguientes agrupaciones:

01. Tipología de vivienda
02. Implantación
03. Clima
04. Ganancias térmicas internas
05. Infiltraciones de aire

b. Establecer las etapas de las simulaciones mediante Desing Builder con las condiciones antes mencionadas a fin de conocer la incidencia de los parámetros para el estudio de las viviendas.

c. Variar los parámetros de estudio en cada una de las etapas de simulación de acuerdo a las recomendaciones y conclusiones que emiten las normativas y los estudios presentados con el fin de obtener indicadores de los niveles del confort interior térmico de las viviendas de estudio. Se establecerán un numero finito de modelos para el análisis bajo las distintas consideraciones.

d. Complementar los análisis térmicos con la herramienta Therm para conocer mas a detalle el rendimiento energético de las secciones estructurales o envolventes de las viviendas.

e. Determinar los parámetros de mayor incidencia en el rendimiento energético de la vivienda según su rendimiento energético.

Se tomará como objeto de estudio una vivienda unifamiliar Tipo 2 de dos plantas que pertenece a la urbanización Los Capulíes, proyecto de la EMUVI EP, ubicada al norte de la ciudad de Cuenca.

Se decide estudiar la vivienda mencionada porque representa la solución más inmediata y común a la demanda de vivienda nacional debido al crecimiento poblacional en los últimos años. La misma se edifica con el sistema tradicional y cumple con las características de la tipología de vivienda de mayor construcción a nivel nacional según los estudios del MIDUVI presentados hasta el año 2018.

Esta tipología de vivienda se desarrolla con una cimentación y estructura de hormigón armado. Sin embargo, muchas edificaciones en los últimos años se construyen con estructura de acero. Las paredes, exteriores e interiores, se conforman de mampostería de bloque y ladrillo. Finalmente, la cubierta plana es de hormigón, en otros casos la cubierta es inclinada con estructura de madera o acero.

El programa arquitectónico se resuelve con el área social en la planta baja, donde se encuentran, la sala, cocina, comedor y baño social. Por consiguiente, en la planta alta se desarrollan dos o tres habitaciones y un baño completo. De esta manera se conforma una vivienda unifamiliar tipo.

Debido a que el objetivo general del estudio comprende el confort interior térmico se considera a la Temperatura Operativa Interior (TO) como la variable de temperatura a tener en cuenta para los análisis de resultados. Por lo tanto, la Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) representa únicamente a la temperatura que rodea a la envolvente de la vivienda como resultado de la incidencia de los factores externos.

PROPUESTA DE ESTUDIO

CAPÍTULO

III

Imagen 23: Estado actual de la vivienda Tipo II en la urbanización Los Capulíes en 2020
Fuente: Los Autores

3.1. Vivienda con el sistema constructivo Tradicional: Sistema Mixto de ladrillo y acero

3.1.1. Antecedentes

De acuerdo al (INEC, 2018) el Sistema Tradicional hace referencia al sistema constructivo de mayor uso en el país, como se observa en la Imagen 03 en el apartado 1.2. Problemática. Este sistema está conformado de manera predominante por los materiales de hormigón armado para la cimentación, hormigón armado o acero para la estructura y techos, mamposterías de ladrillo o bloque para paredes y cerramientos. Por lo tanto, en adelante cuando se haga referencia a la vivienda con el Sistema constructivo Tradicional se refiere específicamente a la vivienda conformada por cimentación de hormigón, estructura de acero y paredes de ladrillo y se denomina Sistema constructivo Mixto de ladrillo y acero.

Según los datos del INEC, presentados en la problemática, a nivel nacional la construcción de viviendas individuales o en serie con otros sistemas constructivos a parte del sistema tradicional mixto de mampostería con estructura de hormigón o con estructura de acero no está muy extendido. Luego de revisar los indicadores de las tipologías de mayor construcción del país es necesario entender los alcances de confort térmico que presentan las viviendas con el sistema constructivo de mayor demanda a nivel nacional.

Las construcciones en serie de carácter tipológico que se construyen en la ciudad utilizan gran cantidad de materia prima no renovable. El proyecto de vivienda urbanización Los Capulíes, es un programa habitacional de la Empresa Pública Municipal de Urbanización y Vivienda de Cuenca, EMUVI-EP. El proyecto está ubicado en la ciudad de Cuenca, en el sector Ochoa León. Consta de 593 viviendas

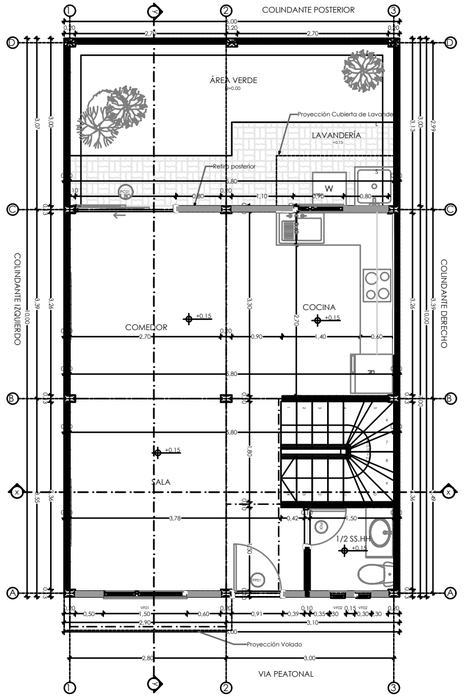
Imagen 24: Estado actual de la calidad constructiva de la vivienda de estudio
Fuente: Los Autores

divididas en 2 tipologías. La vivienda Tipo 1 es de 78,80 m2 de construcción y la vivienda Tipo 2 es de 86,40 m2 de construcción.

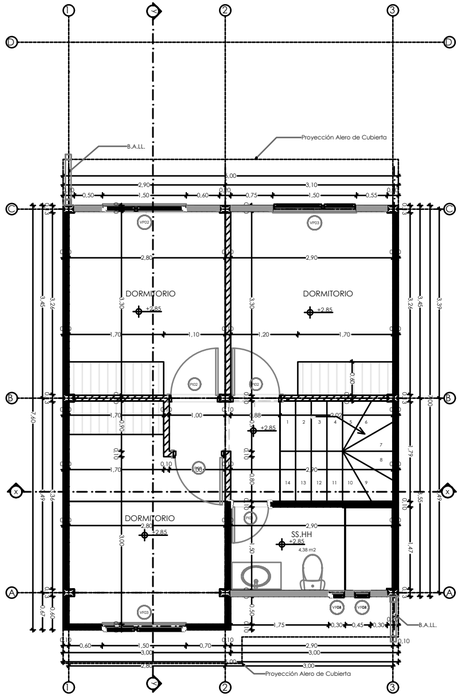
3.1.2. Estado Actual

La vivienda que se utiliza como objeto de estudio es la correspondiente a la tipología 2 de 86.40 m2. Edificada con el sistema constructivo mixto de ladrillo y acero. Posee una cubierta inclinada a dos aguas, cuenta con tres habitaciones, baño completo y baño social, sala, cocina comedor y lavandería en el patio posterior, adicionalmente en el patio existe área verde.

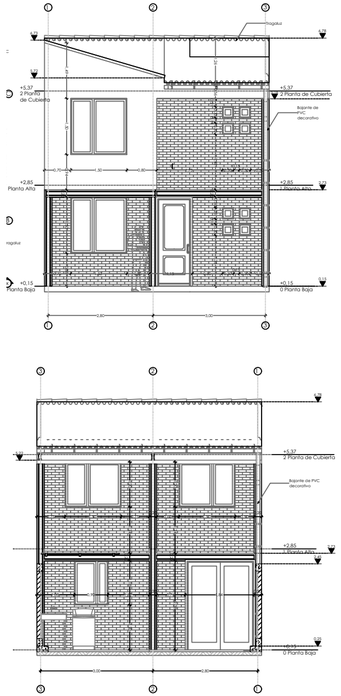
En el estado actual, las configuraciones de las manzanas en toda su longitud están diseñadas con las viviendas sin variación en la tipología. Es decir, las viviendas son iguales tanto para medianeras, así como las esquineras. Cabe recalcar que no se presentan viviendas aisladas en toda la urbanización. Los accesos se dan mediante una vía peatonal de 5 metros de sección. Todas las Fachadas están enfrentadas y cada vivienda es el reflejo de la siguiente, por lo que existe una única fachada general con todas las viviendas iguales.



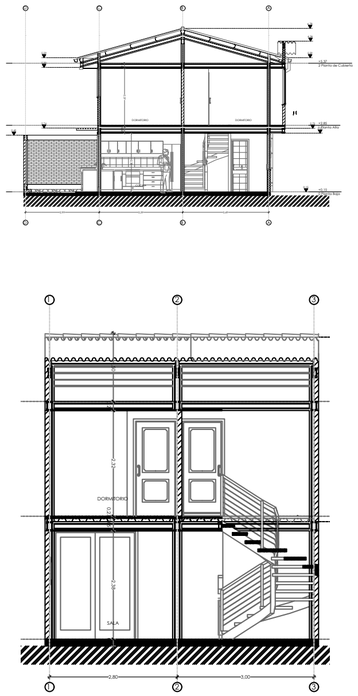
VIVIENDA EN ESTADO ACTUAL: PLANTA BAJA. N= + 0.15. Esc___1:100
Fuente: EMUVI-EP



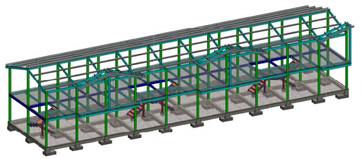
VIVIENDA EN ESTADO ACTUAL: PLANTA ALTA. N= + 2.85. Esc___1:100
Fuente: EMUVI-EP



VIVIENDA EN ESTADO ACTUAL: ELEVACIONES
Fuente: EMUVI-EP

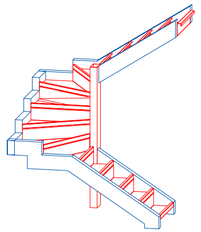


VIVIENDA EN ESTADO ACTUAL: SECCIONES
Fuente: EMUVI-EP



Vista 3D del sistema estructural de una manzana de las viviendas de estudio

Vista 3D del sistema estructural de la grada de las viviendas de estudio



VIVIENDA EN ESTADO ACTUAL: ESQUEMAS 3D
Fuente: EMUVI-EP

Imagen 25: Estructura en LSF de la Vivienda de Estudio. Imagen conceptual de la propuesta
Fuente: Los Autores

3.2. Vivienda con el sistema constructivo LSF

3.2.1. Alcance arquitectónico

Para un estudio dónde se puedan comparar las mejoras del rendimiento energético de un sistema constructivo frente a otro, la morfología de la vivienda adaptada al sistema constructivo LSF se respeta lo mejor posible debido a que por la naturaleza del sistema constructivo LSF existen variaciones mínimas. Existe un cambio en la morfología en la parte de la fachada exterior de la vivienda que no afecta a la funcionalidad o al desempeño energético. Se realiza a nivel de cubierta eliminando una pared triangular pequeña que actúa como fachaleta y cumple únicamente una función estética en el diseño original. Este cambio se realiza para regularizar la estructura de cerchas de la cubierta para que sea continua y al mismo tiempo se estructure sin refuerzos adicionales. Esta consideración de regularización es la recomendada para viviendas con luces superiores a 4m para evitar refuerzos adicionales. De tal manera, se elimina la necesidad de colocar un mayor número de perfiles metálicos evitando anexar refuerzos internos que modifiquen el comportamiento energético con el incremento de la masa que supone cualquier refuerzo adicional. Más adelante, se detalla las recomendaciones de una empresa nacional que brinda asesoría técnica con este sistema constructivo.

Se mantiene el programa funcional y el diseño de todos los espacios. Únicamente se reemplaza el sistema constructivo tradicional por el sistema LSF. Las dimensiones de la vivienda con LSF varían debido a la naturaleza del sistema constructivo. Las variaciones se presentan concretamente en el espesor de las paredes para mantener el mismo diseño original y realizar las comparaciones en el estudio mediante la simulación digital con Desing Builder. Las ventanas y puertas mantienen las dimensiones de la vivienda original y el estudio de rendimiento energético determinará la naturaleza de los materiales recomendados.

La solución constructiva en la propuesta de estudio se enfoca en utilizar la menor cantidad de componentes del sistema sin comprometer la calidad, cumpliendo las normativas vigentes. En el caso de las paredes, tanto exteriores como interiores, se utiliza un único panel de recubrimiento para cada de cara de la pared, con una capa de aire y otra de aislamiento térmico interior. El entrepiso y la cubierta también poseen capas de aislamiento térmico y cámaras de aire para mantener un rango de temperaturas homogéneo.

Mas adelante en las simulaciones se analizará el factor del puente térmico y las estrategias para mitigar sus efectos. La intención es optimizar el sistema constructivo LSF para que el costo final de una vivienda no represente una desventaja frente al sistema constructivo tradicional de mampostería confinada.

3.2.2. Alcance estructural

El análisis estructural está provisto por el Departamento de Ingeniería y Proyectos de TUGALT S.A.

Las consideraciones generales son la utilización de los siguientes Perfiles: Stud 90x0.93mm en paredes y cerchas. Track 90x0.93mm en paredes y cerchas. Stud 200x1.8mm en entrepiso y Track 200x1.8mm en entrepiso. En el caso de aperturas tales como puertas y ventanas se debe realizar un dintel. Sin embargo, mientras mayor sea la apertura, se recomienda utilizar perfiles de mayor alma, tales como el Stud de 200x1.28mm para formar la “caja” (2 stud 200x1.28mm y 2 track 90x0.93mm). En la parte del entrepiso se recomienda utilizar perfiles de 200x1.8mm de espesor, Tugalt S.A. Menciona que en el año 2019 estos perfiles no se producen en el país, pero se los tendrá disponibles en el transcurso del año 2020. Por lo tanto, se han considerado perfiles de estas características para el entramado del entrepiso.

Una recomendación por parte de la empresa que realiza el diseño estructural, es que, en la actualidad, para diseñar luces con longitudes grandes se recomienda utilizar un entrepiso tipo cercha, esto se puede realizar con perfiles de 200x1.28, los cuáles son utilizados normalmente en los entrepisos. El elemento crítico a diseñar en la propuesta es el entrepiso, debido a la luz que se maneja en el proyecto. El departamento de Ingeniería y Proyectos recomienda realizar ese cambio tomando alguna de las dos soluciones propuestas (subir el espesor del material o formar cerchas tipo). Sin embargo, puede ser resuelto de ambas maneras con perfiles de 200mm.

La recomendación principal es reforzar la estructura en el sentido horizontal. Una opción es utilizar fleje rigidizador y formar la “cruz de san Andrés”, para que la cruz sea eficiente debe ir asegurada con cartelas cuadradas en los extremos del panel y los tornillos deben ir sólo en esas partes, el fleje debe ir lo más tenso posible y no debe atornillarse en los studs por los que pase. Otra opción es rigidizar con un stud horizontal cada 1220mm. Esta opción incluso facilita el modulado de las placas de revestimiento.

En general, bajo las observaciones del departamento de ingeniería de Tugalt S.A. La estructura se encuentra modulada correctamente y de una manera eficiente, la cantidad de acero es la adecuada.

Se considera la adaptación de la vivienda con los materiales que se distribuyen de manera nacional y local. Todos los componentes del sistema LSF existen en el medio.

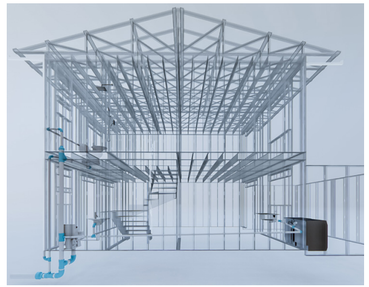
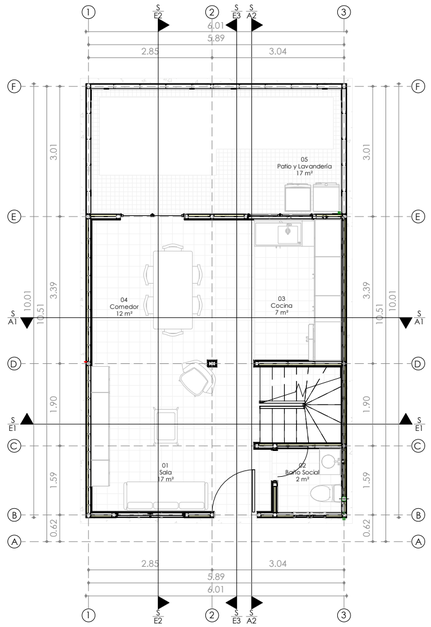


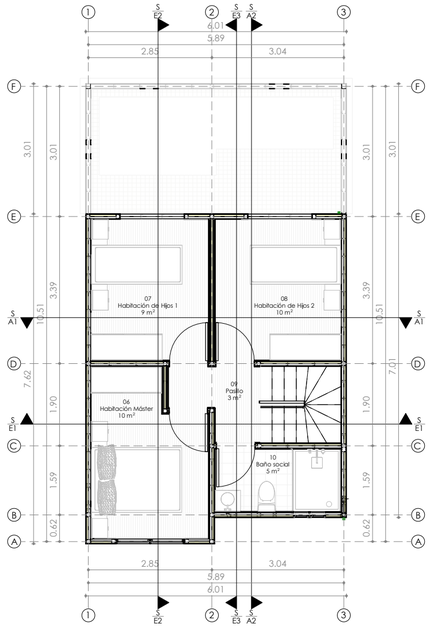
Imagen 26: Esquema de instalaciones en la propuesta de estudio con LSF
Fuente: Los Autores

3.2.3. Instalaciones eléctricas e Instalaciones hidrosanitarias

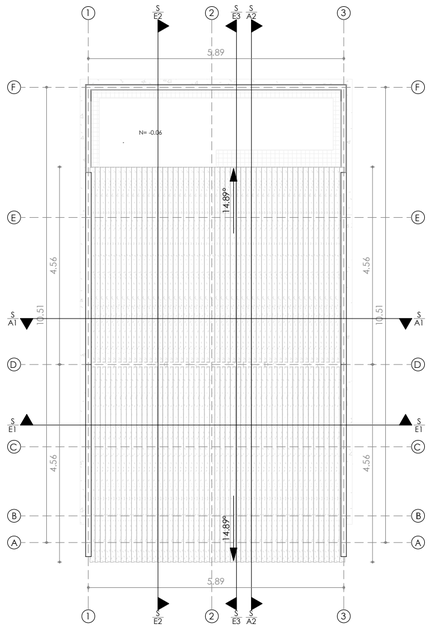
En el caso particular de las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias en el sistema LSF, a diferencia del sistema tradicional, la colocación de todos los elementos que conforman las instalaciones es mucho más rápida y fácil de realizar. Las instalaciones de realizan después de la colocación de la estructura durante la instalación de las capas de aislamiento y paneles de cerramiento. En el caso de paneles prefabricados, las instalaciones ya están previstas, colocadas y probadas. Una vez que se haya concluido la estructura y las instalaciones hidrosanitarias estén completas, es necesario realizar pruebas a plena carga para revisar posibles fugas ya que la humedad compromete la vida útil del sistema de manera muy evidente.



PLANTA BAJA - PROPUESTA DE ESTUDIO
N= + 0.00
Esc.___1:100



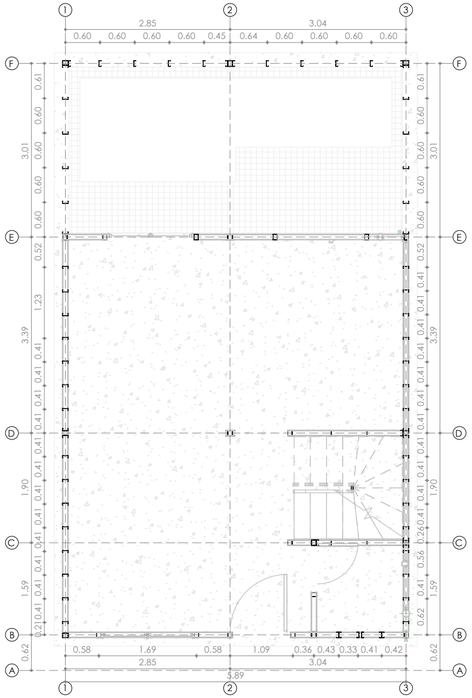
PLANTA ALTA - PROPUESTA DE ESTUDIO
N= + 2.64
Esc.___1:100



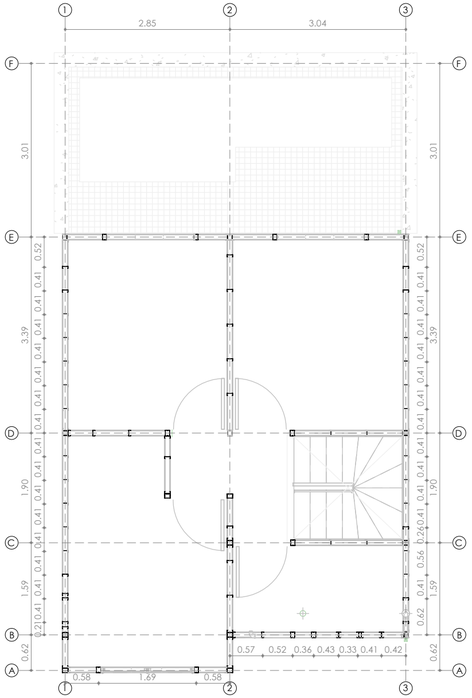
PLANTA DE CUBIERTAS - PROPUESTA DE ESTUDIO
N= + 6.53
Esc.___1:100

ALZADOS Y SECCIONES ARQUITECTÓNICAS - PROPUESTA DE ESTUDIO

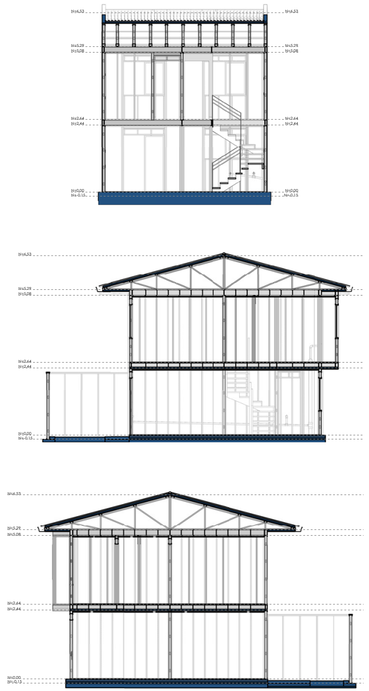
Esc.___1:200



PLANTA BAJA ESTRUCTURAL - PROPUESTA DE ESTUDIO
N= + 0.00
Esc___1:100

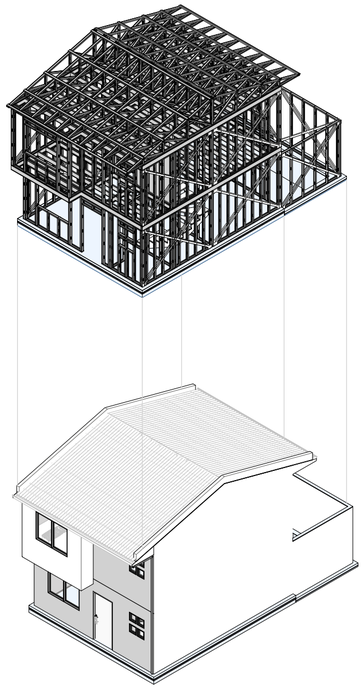


PLANTA ALTA ESTRUCTURAL - PROPUESTA DE ESTUDIO
N= + 2.64
Esc___1:100

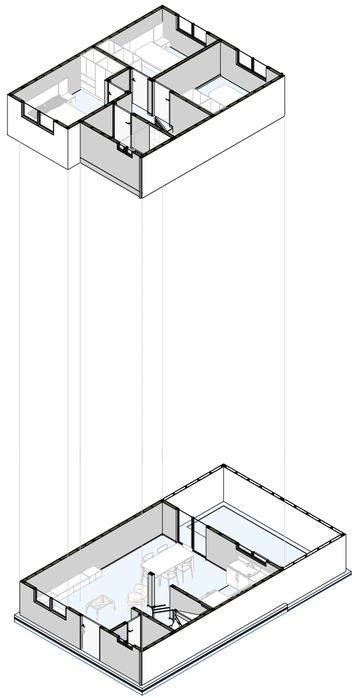


SECCIONES ESTRUCTURALES - PROPUESTA DE ESTUDIO

Esc___1:100



ESQUEMA 3D ESTRUCTURAL - PROPUESTA DE ESTUDIO



ESQUEMA 3D ARQUITECTÓNICO - PROPUESTA DE ESTUDIO

SIMULACIONES

CAPÍTULO

IV

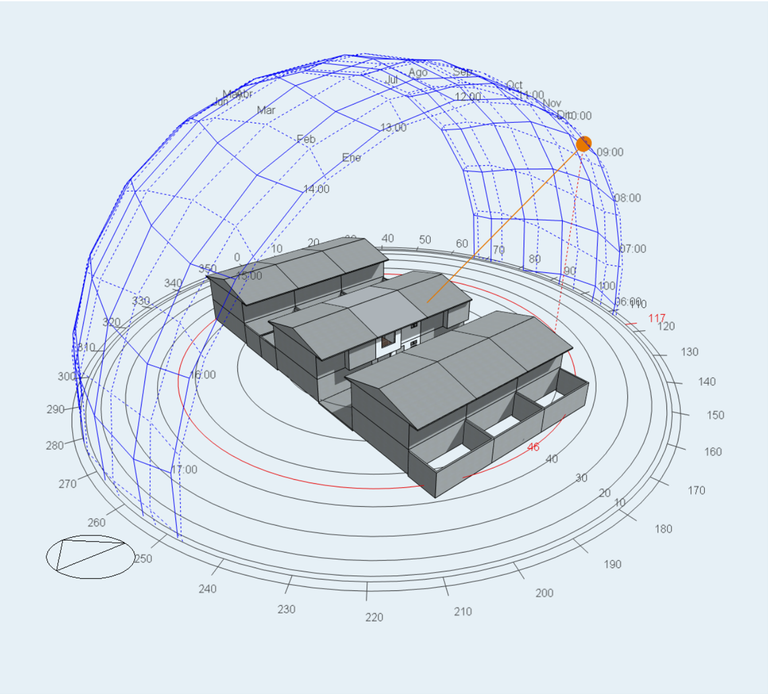


Imagen 27: Modelo digital 3D de la vivienda de estudio. Propuesta en LSF. Modelo de Desing Builder
Fuente: Los Autores

4.1. Información preliminar

4.1.1. Ubicación

El proyecto de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Cuenca, capital de la provincia del Azuay. La ciudad está ubicada al centro-sur de la región interandina del Ecuador.

La urbanización Los Capulíes se encuentra emplazada al norte de la ciudad de Cuenca en el sector Ochoa León junto al rio Machángara y a la Urbanización de los Ingenieros sector Ochoa León. Se encuentra a 9 kilómetros del centro histórico y a 8 kilómetros del aeropuerto de la ciudad. En la Imagen 28 se observa un diagrama de la ubicación de la vivienda de estudio.

4.1.2. Características climáticas de la ciudad de la vivienda de estudio

La ciudad de Cuenca está ubicada a una altitud de 2550 metros sobre el nivel del mar. Pertenece a la Zona Climática 3 de la clasificación de los pisos climáticos del Ecuador. Esta zona climática está determinada como Región Sierra: Continental Lluviosa, la cual posee el siguiente criterio climático: "CDD10°C≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000". Dónde CDD significa Grados días de enfriamiento base 10°C (Cooling Degree Days) y HDD significa Grados días de calefacción base 18°C (Heating Degree Days). Por sus siglas en Ingles respectivamente. En otras palabras, los índices HDD y CDD significan que para cualquier temperatura superior a los 18 °C una edificación no necesita calefacción y en contraparte una temperatura inferior si la necesita.

Desde enero hasta mayo se da la temporada más lluviosa.

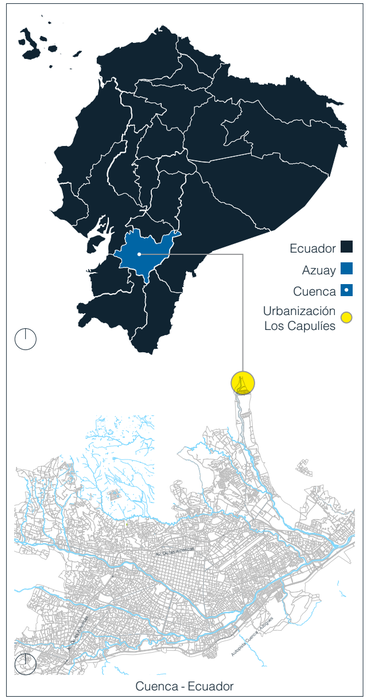


Imagen 28: Ubicación de la vivienda de estudio en la ciudad de Cuenca
Fuente: Los Autores

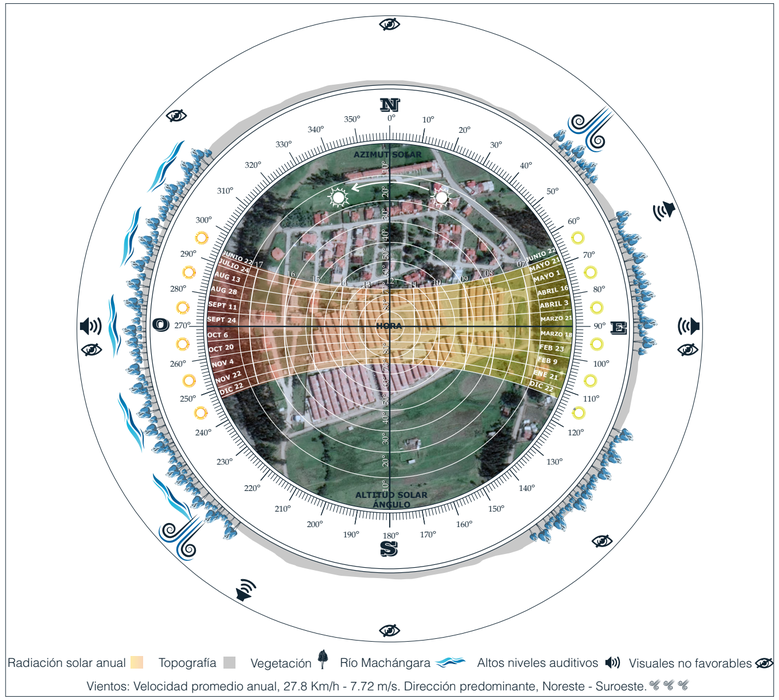


Imagen 29: Esquema de las condiciones climáticas de la vivienda de estudio en la urbanización Los Capulíes en la ciudad de Cuenca
Fuente: Los Autores

Por el contrario, la temporada con precipitaciones menos pronunciadas va de mayo a diciembre. Se aclara que, existe presencia de lluvia durante todo el año y también se producen varios cambios de clima y temperatura durante el transcurso del día.

La ciudad de Cuenca, por su ubicación dentro de un valle andino, goza de un clima privilegiado. Cuenta con una temperatura variable entre 7 y 25 °C. En otras palabras, la ciudad dispone de un clima primaveral durante todo el año. La temperatura promedio de la ciudad es de 15.6 °C. Los veranos son frescos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. El mes más caluroso es marzo, mientras que, el mes más frío se da en agosto. La humedad relativa promedio en la ciudad está entre el 41% y el 83% anuales, la humedad relativa media de 62% (Velepucha, 2014).

La duración del día en Cuenca no varía de manera significativa durante el año. La salida del sol se da alrededor de las 05:50 y 06:30, mientras que la puesta del sol se da entre las 18:05 y 18:35.

La velocidad promedio del viento por hora en Cuenca tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año. La parte más ventosa del año va de mayo a septiembre, con velocidades promedio del viento de más de 9,7 kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año va de septiembre a mayo. La dirección del viento promedio por hora predominante en Cuenca es del este durante el año. En la Imagen 29 se muestra un análisis del medio físico de la vivienda en la urbanización de estudio.

4.1.3. Propiedades y características de los materiales de las viviendas de estudio

a. Calor especifico Cp (J/KgK): Es la magnitud física que define la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad (kelvin o grados Celsius) (Quezada Vanegas, 2019).

b. Conductividad térmica λ (W/mK): El coeficiente de conductividad térmica **λ** es una constante de un material. Refleja el flujo de calor expresado en vatios a través de ese material de 1 m de espesor causado por una diferencia de temperaturas constante de 1 grado entre las dos caras por m2 (Quezada Vanegas, 2019).

c. Inercia térmica: Representa la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Su medida se expresa en kJ.

m =V*Cp*p
Donde:
m=inercia térmica
V=volumen
Cp=calor específico
p=densidad aparente
Fuente: (Quezada Vanegas, 2019).

d. Resistencia térmica R (m2K/W): Es la capacidad de un material de oponerse al flujo de calor.

R=e/ λ
Donde:
R=resistencia térmica
e=espesor
λ=conductividad térmica
Fuente: (Quezada Vanegas, 2019).

e. Transmitancia térmica U (W/m2K): Es la transmisión de calor por unidad de tiempo a través de un material o a través de un elemento constructivo y las películas/barreras de aire, inducida por una diferencia de temperatura entre los ambientes en ambos lados del elemento considerado. Las unidades del factor U son W/m2K (Quezada Vanegas, 2019).

f. Infiltraciones de aire: Las infiltraciones de aire son fugas no controladas a través de grietas y hendiduras en cualquier elemento de la edificación causadas por la diferencia de presión debido a factores como el viento, las diferencias de temperatura entre el exterior y el interior, y un desequilibrio entre el suministro y retorno del sistema de distribución de aire. La forma de medir las infiltraciones de aire se expresa en 1/h Cambios de aire por hora, por sus siglas en inglés, ACH Air Exchange per Hour. El intercambio de aire es la combinación de dos procesos: infiltración y ventilación (Reichmana, Shirazia, Colliverb, y Pennell, 2017), (Cetin, Fathollahzadeh, Kunwar, Do, y Tabares-Velasco, 2019).

En Chile, normalmente en las condiciones operativas reales de una vivienda la presión de intercambio de aire es de 4 Pa, pero para condiciones de medición donde la diferencia de presión se aprecie se utiliza una diferencia de presión de 50 Pa. Las viviendas sociales con el sistema tradicional presentan niveles de infiltraciones de 6 a 10 ACH a 50 Pa y las viviendas sociales con el sistema de perfiles de acero liviano, es decir el sistema LSF, los niveles de infiltraciones son de 25 a 30 ACH a 50 Pa. Las infiltraciones en las viviendas con el sistema tradicional de ladrillo son muy altas. Con la particularidad que estas solo se presentan en puertas y ventanas. Sin embargo, cuando se mejora la calidad del sellado en las juntas constructivas la tasa de infiltraciones se reduce 5 veces alcanzando niveles de sellado de viviendas de un mayor estándar. Para el sistema LSF en las viviendas de interés social las infiltraciones son mayores debido a que estas no solo se producen por puertas y ventanas sino a través de los muros. Si la calidad constructiva en muros con el LSF es similar o superior a las viviendas con el sistema tradicional de mampostería confinada en juntas y grietas se observa que la tasa de infiltraciones disminuye (Madrid, Opazo, y Parada, 2012).

En Ecuador, específicamente en la ciudad de Cuenca, los valores de las infiltraciones pueden diferir de los de Estados Unidos y Canadá donde la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) por sus siglas en inglés, estima valores promedio de las infiltraciones de aire. Sin embargo, en el país es esperable que en las viviendas con albañilería las infiltraciones se den a través de puertas, ventanas y chimeneas. Paralelamente, las infiltraciones en construcciones con sistemas livianos o prefabricados se dan a través de las numerosas juntas constructivas. Por lo tanto, las referencias de Chile para este estudio son las más adecuadas.

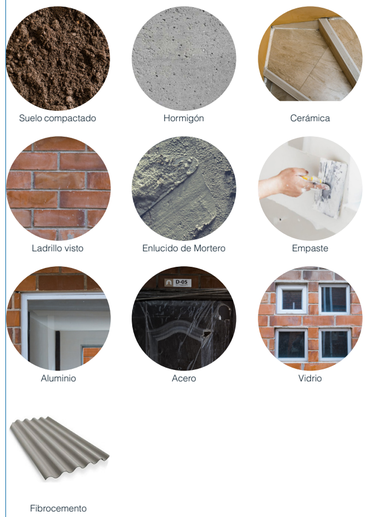
g. Materiales utilizados en la investigación: Aquí se describen los materiales con los cuáles se ha edificado la vivienda de referencia. Al mismo tiempo, se mencionan los materiales con los cuáles se hará la propuesta adaptada al sistema LSF de manera general. Las variaciones en cuanto a la configuración de cada elemento constructivo de la propuesta se mencionarán en cada una de las etapas de simulación.

La vivienda en su estado actual, ya construida, está conformada por cimentación de zapatas aisladas y estructura de acero, albañilería de ladrillo visto para las paredes. La cubierta es de fibrocemento ondulado. Los acabados en pisos son de cerámica, las paredes interiores se resuelven con enlucido y empastado. Los cielos rasos son de estuco empastado. Las áreas húmedas tienen cerámica. La puerta principal es de acero y las interiores de madera aglomerada. Las ventanas son de vidrio simple con estructura de aluminio.

Por consiguiente, la propuesta de la vivienda tiene como sistema constructivo al LSF. La cimentación está resuelta con losa de hormigón. Las paredes se componen de capas de yeso cartón en interiores y fibrocemento para exteriores, en ambos casos, empastadas y pintadas. Lana mineral como aislante térmico. La cubierta es de fibrocemento ondulado con subestructura de OSB. Los pisos son de porcelanato y piso flotante. Los cielos rasos son de paneles de yeso cartón empastados. Las puertas son de madera aglomerada. Las ventanas son de vidrio

Tabla 08: Materiales utilizados en la investigación

Vivienda sistema Mixto de ladrilllo y acero	Vivienda LSF



con perfilería de madera o PVC.

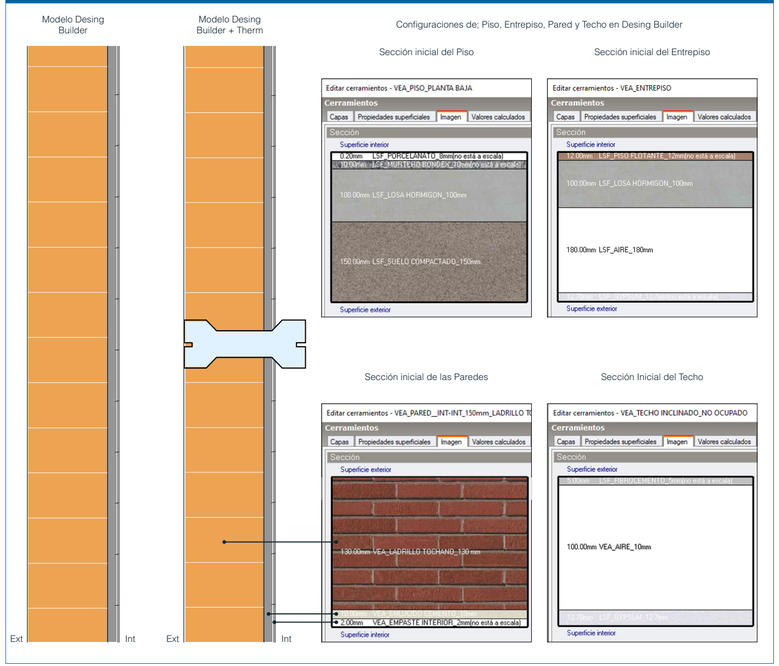
4.1.4. Propiedades y características de las secciones iniciales de las viviendas de estudio

En Desing Builder se han modelado las dos viviendas para adecuarlas a los diferentes análisis. En el caso del sistema tradicional mixto de mampostería de ladrillo y estructura de acero se modela la vivienda con las características en su estado actual. Sin embargo, en la vivienda con LSF de acuerdo a las etapas de simulación la sección se irá modificando y adaptando a las necesidades, por lo tanto, la sección base es la referencial a la literatura consultada en el estado de arte.

La vivienda de referencia, posee un suelo con las siguientes capas desde la inferior hasta la superior; Suelo compactado de 150mm, Losa de hormigón de 100mm, Mortero para porcelanato de 10mm y Porcelanato de 8mm. El entrepiso contiene de abajo hacia arriba las siguientes capas; Cielo raso de Yeso Cartón de 12.7mm, Cámara de aire de 180mm, Losa de Hormigón de 100mm con estructura de acero incluida y Piso flotante de 12mm. Techo conformado por; Cielo raso de Yeso Cartón de 12.7mm, Cámara de aire de 100mm y Fibrocemento ondulado de 5mm de espesor. Estas capas de materiales introducidos en Desing Builder se complementan con Therm según las etapas de simulación.

En la Vivienda adaptada al sistema LSF las capas son diferentes. Por lo tanto, adaptar el sistema se da desde las paredes. En el caso del suelo las capas son iguales con las mismas características y dimensiones. Sin embargo, el entrepiso ya contiene elementos propios del sistema LSF; Cielo raso de Yeso Cartón de 12.7mm, Lana de Roca de 50mm, Cámara de aire de 50mm, Fibrocemento de 17mm y Piso flotante de 12mm, capas desde abajo hacia arriba.

Tabla 09: Sección base de la vivienda de referencia con el sistema Tradicional mixto

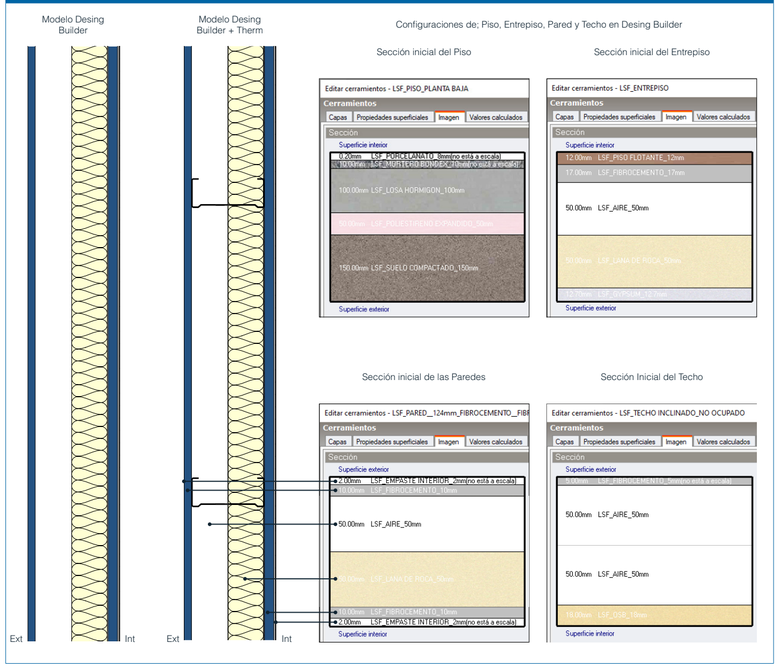


Las paredes se configuran de acuerdo a la tipología "Dry Wall". Sin embargo, se analizará la pertinencia de la ubicación de la capa de aislamiento de acuerdo a las tipologías pared fría, pared cálida y pared hibrida, asimismo el espesor de la capa de aislamiento será analizado progresivamente para determinar su sección. Las capas de la pared inicial desde el interior hasta el exterior son; Empaste interior de 2mm, Fibrocemento de 10mm en ambientes húmedos y Yeso cartón de 12.7mm en ambientes secos, Lana de roca de 50mm, cámara de aire de 50mm, Fibrocemento de 10mm y Empaste exterior de 2mm.

El techo se configura desde abajo hacia arriba con las capas de; OSB de 18mm, Cámara de aire de 100mm y Fibrocemento Ondulado de 5mm.

Con estas consideraciones se parte el análisis de las viviendas. Es importante mencionar que la estructura de cada vivienda se estudiará más adelante con Therm. Los aislamientos de las viviendas con LSF de estudiará a fondo para establecer la mejor consideración y desempeño.

Tabla 10: Sección base de la vivienda de estudio con el sistema LSF



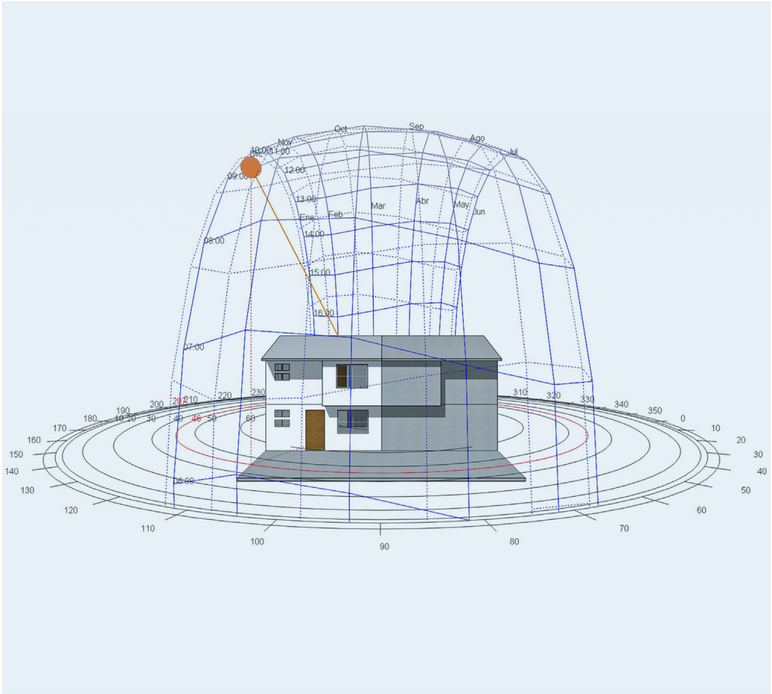


Imagen 30: Modelo digital 3D de la vivienda de estudio. Propuesta en LSF. Modelo de Desing Builder
Fuente: Los Autores

4.2. Evaluación del comportamiento térmico de la vivienda de estudio mediante Desing Builder

El desarrollo de la metodología de estudio para evaluar el confort interior térmico de la vivienda de referencia y la vivienda adaptada al sistema LSF, en este apartado, se estudia mediante etapas debido a la gran cantidad de variables involucradas en el estudio. Por lo que, se hace necesario ir analizando las condiciones de evaluación por etapas para identificar los parámetros más influyentes en el comportamiento energético de cada vivienda.

Cada una de las etapas presenta consideraciones distintas de acuerdo a las particularidades de las diferentes condiciones de estudio. Las etapas a desarrollarse son; Etapa 01 donde se estudian todas las consideraciones y parámetros generales. En la Etapa 02 se suma la incidencia de los puentes térmicos generados por la estructura interna de ambos sistemas constructivos. La Etapa 03 suma la incidencia del aislamiento térmico parcial y total. Finalmente, la Etapa 04 suma al estudio las variaciones por la disminución de infiltraciones de aire y optimización del sistema constructivo LSF. En cada etapa se hará mención con mayor profundidad a los detalles para el estudio virtual.

4.2.1. Condiciones generales para el estudio de los sistemas constructivos mediante simulación digital

Se identifican y establecen los siguientes parámetros para la evaluación; Sistema constructivo, Tipología de Vivienda, Implantación, Clima, Ganancias Térmicas Internas e Infiltraciones de Aire. Son seis categorías determinadas en base a las investigaciones consultadas en el estudio del estado de arte. Se toma en cuenta los aspectos y características más determinantes e influyentes al momento de estudiar el confort interior térmico. En la Tabla 11 se hace un resumen de las condiciones que se toman en cuenta para el estudio. A continuación, se detalla cada una de ellas más a detalle.

a. Sistema constructivo: En función de los materiales utilizados para la construcción de la vivienda para el estudio se ha planteado dos sistemas constructivos; el primero es el sistema constructivo mixto de mampostería de ladrillo y acero, y el segundo es el sistema LSF. De esta manera se tienen las viviendas siguientes: Vivienda con sistema mixto de ladrillo y acero y Propuesta con LSF.

Imagen 31: Esquema representativo de los sistemas constructivos
Fuente: Los Autores

b. Tipología de vivienda: Se establece de acuerdo a la posición de la vivienda dentro de la manzana de la urbanización tres casos: Vivienda adosada entre medianeras, Vivienda esquinera y Vivienda aislada. Esta consideración ha sido planteada debido a la ganancia de calor que se produce por radiación solar y a las diferencias de temperatura en las viviendas debido a las corrientes de los vientos que envuelven las edificaciones. Teniendo diferencias de temperatura en cada uno de los casos. De este modo se tienen 6 tipologías:

V01. Vivienda con sistema mixto de ladrillo y acero medianera
V02. Vivienda con sistema mixto de ladrillo y acero esquinera
V03. Vivienda con sistema mixto de ladrillo y acero aislada
V04. Propuesta con LSF medianera
V05. Propuesta con LSF esquinera
V06. Propuesta con LSF aislada

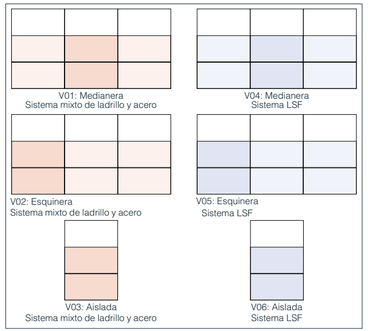


Imagen 32: Esquema representativo de las tipologías de vivienda
Fuente: Los Autores

c. Implantación: Se estudia las tipologías de viviendas con la orientación de la fachada principal hacia los cuatro puntos cardinales para analizar la ganancia y pérdida de calor por radiación solar. Es importante aclarar que la orientación de la vivienda en el estado actual se corresponde con la fachada principal orientada hacia el este con una diferencia de 4,31 grados. Por lo tanto, se tienen los siguientes parámetros:

I01. Orientación de la fachada principal en Estado Actual Este
I02. Orientación de la fachada principal en Estado Actual Oeste
I03. Orientación de la fachada principal Norte
I04. Orientación de la fachada principal Sur
I05. Orientación de la fachada principal Este
I06. Orientación de la fachada principal Oeste

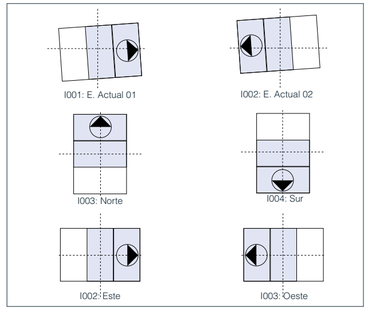


Imagen 33: Esquema representativo de la implantación de las viviendas
Fuente: Los Autores

d. Clima: En cuanto al clima se utiliza el archivo climático de la ciudad de Cuenca para Desing Builder en formato epw. Este fichero climático ha sido desarrollado por el equipo técnico de la Universidad de Cuenca para el estudio climático de la ciudad. El Arq. Hernán Sánchez docente de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca ha proporcionado una versión del archivo epw.

En las simulaciones térmicas se tienen diferentes tipos de control de temperatura, los cuáles son el resultado de los

datos del archivo climático. Temperatura del Aire, hace referencia a la temperatura media del aire en una zona. Temperatura Radiante, temperatura media en el interior de la zona. Temperatura Operativa es el promedio de la temperatura del aire y temperatura radiante. Temperatura Exterior Bulbo Seco, es la temperatura exterior constante empleada en el cálculo.

Dado que la investigación propone establecer la temperatura de confort interior térmico. Se considera al promedio entre la temperatura del aire interior y la temperatura radiante conocido como Temperatura Operativa, esta será la temperatura de diseño a tener en cuenta. Para establecer el confort térmico se analiza las tipologías de viviendas con cada orientación para obtener resultados promedio; anuales, mes frío, mes cálido, día más frío y día más cálido. Se analiza la vivienda dividida en zonas; planta baja, planta alta y vivienda completa. Así se obtienen los siguientes parámetros de medición:

C01. Promedio Anual, Temperatura Operativa
C02. Promedio Mensual, Temperatura Operativa, Mes más frío
C03. Promedio Mensual, Temperatura Operativa, Mes más cálido
C04. Promedio Diario, Temperatura Operativa, Día más frío, número de horas confort
C05. Promedio Diario, Temperatura Operativa, Día más cálido, número de horas confort

e. Ganancias internas: Son las ganancias térmicas relacionadas con los ocupantes, aparatos y equipos (Ordoñez García, 2014). El número de usuarios para el estudio nace en función del censo poblacional del INEC en el 2010 donde se indica un número de 3.7 usuarios para la tipología de vivienda de referencia. En cuanto a las ganancias internas asociadas a los aparatos y equipos el valor se determina en función del consumo de los equipos

Tabla 11: Condiciones y parámetros generales para la evaluación virtual

No.	Parámetro	Código	Variables	Descripción de variable	Observaciones
1	Tipología de Vivienda	V001	V. Ladrillo Medianera	Vivienda estado actual tipo 01	Entre medianeras
2		V002	V. Ladrillo Esquinera	Vivienda estado actual tipo 02	Esquiera
3		V003	V. Ladrillo Aislada	Vivienda estado actual tipo 03	Aislada
4		V004	V. LSF Medianera	Vivienda propuesta tipo 01	Entre medianeras
5		V005	V. LSF Esquinera	Vivienda propuesta tipo 02	Esquinera
6		V006	V. LSF Aislada	Vivienda propuesta tipo 03	Aislada
7	Implantación	I001	Fachada Actual lado 01	Orientación de Fachada Principal	Estado actual 01
8		I002	Fachada Actual lado 02	Orientación de Fachada Principal	Estado actual 02
9		I003	Fachada Norte	Orientación de Fachada Principal	Norte
10		I004	Fachada Sur	Orientación de Fachada Principal	Sur
11		I005	Fachada Este	Orientación de Fachada Principal	Este
12		I006	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 frio	Todo el día
17		C05	Día más cálido	Día anual más caliente	Todo el día
18	Ganancias Internas	GI1	Usuarios	3.7	Usuarios promedio INEC
19		GI2	Aparatos y Equipos	13.31 W/m2	W/m2
20	ACH. Infiltraciones de Aire del Sistema constructivo	SC1	10 ACH	Mixto de ladrillo y acero	10 ACH a 50 Pa
21		SC2	25, 10, 7 ACH	LSF	25 ACH a 50 Pa

para el área útil de la vivienda. Los datos de referencia son; 1 refrigerador de 250W, 4 Televisores SmartTV con un total de 800W, 1 computador de 100W. Un total de 1150W para 86.40m2 de la vivienda, las ganancias internas asociadas son de 13.31W/m2.

GI1. 3.7 Usuarios
GI2. 13.31 W/m2

e. Infiltraciones de Aire: Se toma como referencia los valores de los estudios realizados en Chile para los sistemas constructivos de mampostería de ladrillo y sistemas livianos en LSF de (Madrid et al., 2012), también los datos presentados en (CITEC UBB, 2013), mencionados en el apartado "4.1.3. Propiedades y características de los materiales". Estos valores han sido estudiados a 50Pa para ambos sistemas constructivos. Además, las normativas

Tabla 12: Condiciones para la Etapa 01 de simulaciones

No.	Sistema Constructivo		Tipología de vivienda	Combinación de Variables
	Tipo	Características		
E1_01	Sistema Mixto de ladrillo y acero 10 ACH50	1.- Cimentación y Estructura: Zapatas aisladas, Acero estructural. 2.- Entrepiso y Cubierta: Losa de hormigón y Fibrocemento ondulado. 3.- Paredes y acabados: Ladrillo, Enlucido, Empastado y Pintado. 4.- Puertas y Ventanas: Acero y Madera, Aluminio y Vidrio simple. 5.- Acabados de suelos y cielos: Cerámica, Piso flotante y Estucados. 6.- Aislamiento térmico: Ninguno.	Medianera	Vivienda Ladrillo Medianera + Orientación Actual Este + 10 ACH50
E1_02				Vivienda Ladrillo Medianera + Orientación Actual Oeste + 10 ACH50
E1_03			Esquinera	Vivienda Ladrillo Esquinera + Orientación Actual Este + 10 ACH50
E1_04				Vivienda Ladrillo Esquinera + Orientación Actual Oeste + 10 ACH50
E1_05			Aislada	Vivienda Ladrillo Aislada + Orientación Norte + 10 ACH50
E1_06				Vivienda Ladrillo Aislada + Orientación Sur + 10 ACH50
E1_07				Vivienda Ladrillo Aislada + Orientación Este + 10 ACH50
E1_08				Vivienda Ladrillo Aislada + Orientación Oeste + 10 ACH50
E1_09	Sistema LSF 25 ACH50	1.- Cimentación y Estructura: Losa de hormigón, Tracks y Studs. 2.- Entrepiso y Cubierta: Fibrocemento, Fibrocemento ondulado y OSB 3.- Paredes y acabados: Fibrocemento, Yeso Cartón y Empastado y Pintado. 4.- Puertas y Ventanas: Acero y Madera, Aluminio y Vidrio simple. 5.- Acabados de suelos y cielos: Porcelanato y Piso flotante, Estucados. 6.- Aislamiento térmico: Lana de roca 50mm solo en paredes.	Medianera	Vivienda LSF Medianera + Orientación Norte + 25 ACH50
E1_10				Vivienda LSF Medianera + Orientación Sur + 25 ACH50
E1_11				Vivienda LSF Medianera + Orientación Este + 25 ACH50
E1_12				Vivienda LSF Medianera + Orientación Oeste + 25 ACH50
E1_13			Esquinera	Vivienda LSF Esquinera + Orientación Norte + 25 ACH50
E1_14				Vivienda LSF Esquinera + Orientación Sur + 25 ACH50
E1_15				Vivienda LSF Esquinera + Orientación Este + 25 ACH50
E1_16				Vivienda LSF Esquinera + Orientación Oeste + 25 ACH50
E1_17			Aislada	Vivienda LSF Aislada + Orientación Norte + 25 ACH50
E1_18				Vivienda LSF Aislada + Orientación Sur + 25 ACH50
E1_19				Vivienda LSF Aislada + Orientación Este + 25 ACH50
E1_20				Vivienda LSF Aislada + Orientación Oeste + 25 ACH50

internacionales en referencia a valores menores de infiltraciones para el sistema LSF. Por lo tanto, se obtienen los siguientes parámetros de medición:

SC1. 10 ACH para el sistema mixto de ladrillo y acero
SC2. 25, 10 y 7 ACH para el sistema LSF

4.2.2. Etapa 01 de simulaciones

La primera etapa toma como base las condiciones generales. Sin embargo, la estructura interna no ha sido tomada en cuenta al momento de calcular el rendimiento energético de las viviendas. La razón de esta decisión obedece a la gran cantidad de variables que están en estudio. Por lo tanto, se evalúan todos los parámetros de manera general con el objetivo de determinar cuáles son las variaciones de las condiciones que no son iguales en todas las tipologías de vivienda de acuerdo a cada sistema constructivo. La Tabla 12 contiene las simulaciones correspondientes a la Etapa 01 estableciendo 20 simulaciones. En esta etapa los modelos de las viviendas no poseen los elementos estructurales. Esta consideración de la estructura será complementada más adelante con

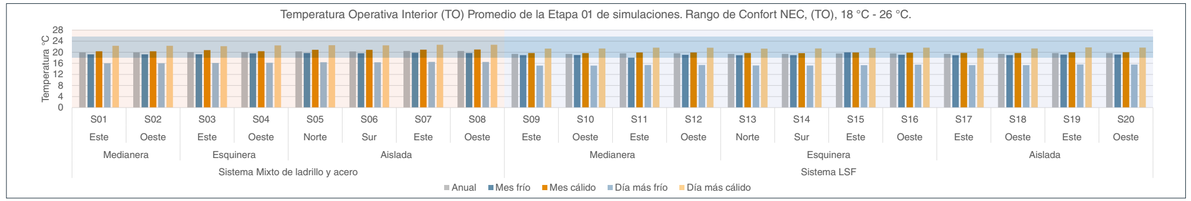


Imagen 34: Resultados térmicos promedio de la Etapa 01 de Simulaciones
Fuente: Los Autores

la herramienta Therm, a fin de conocer la incidencia real de las temperaturas de la estructura en ambos sistemas constructivos.

Se busca identificar la incidencia del clima en las viviendas a través de su implantación. La variación de la orientación de cada vivienda en función de la fachada principal es importante por la ganancia de radiación solar, por lo que, en esta primera instancia, al tener el archivo climático epw, se destacará las viviendas que menor comportamiento energético tengan debido a su orientación.

Al finalizar las 20 simulaciones se puede identificar que todas las viviendas no alcanzan el rango confort en el día más frio. Sin embargo, estos valores de temperatura serán distintos en la siguiente etapa de simulaciones ya que se considerarán los puentes térmicos por la estructura interna. Así mismo, cuando la fachada principal está orientada hacia el Norte o Sur, las viviendas obtienen valores de Temperatura Operativa Interior (TO) menores en comparación con las orientaciones de la fachada principal al Este u Oeste. La Imagen 34 muestra los resultados promedio de cada simulación, de esta manera se observa la tendencia de las orientaciones más desfavorables.

Tabla 13: Temperaturas promedio Etapa 01

Sistema Mixto. Promedio de Temperaturas °C. 10 ACH					
Orientación	**Anual**	**Mes frío**	**Mes cálido**	**Día más frío**	**Día más cálido**
Norte	20,315	19,723	20,886	16,396	22,543
Sur	20,304	19,638	20,871	16,379	22,496
Este	20,154	19,442	20,689	16,229	22,413
Oeste	20,161	19,524	20,573	16,240	22,510

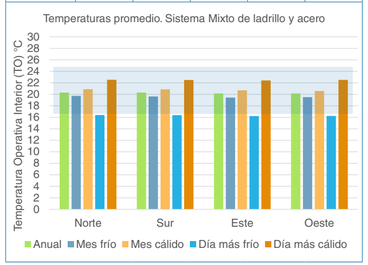
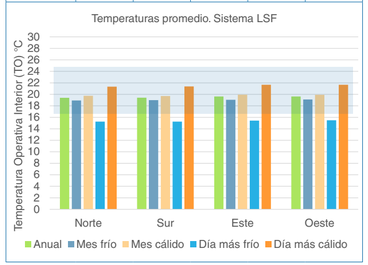


Tabla 14: Temperaturas promedio Etapa 01

Sistema LSF. Promedio de Temperaturas °C. 10 ACH					
Orientación	**Anual**	**Mes frío**	**Mes cálido**	**Día más frío**	**Día más cálido**
Norte	19,404	18,938	19,749	15,258	21,328
Sur	19,410	18,985	19,704	15,252	21,373
Este	19,623	19,054	19,941	15,439	21,658
Oeste	19,638	19,115	19,927	15,490	21,657



4.2.3. Análisis del desempeño térmico de los sistemas constructivos a través de la sección de los muros de cerramiento mediante Therm

Las temperaturas interiores y exteriores para Therm, definidas como condiciones de contorno, son los promedios de las simulaciones de la primera etapa de cada sistema constructivo que se analizó debido a que las variaciones térmicas son mínimas, en la mayor parte de casos, la variación es menor a 1 °C. En este apartado la variable de estudio es la influencia de la estructura interna de cada sistema constructivo. Se hacen los análisis en Therm en los casos más desfavorables de ambos sistemas constructivos en cada orientación.

En las Tablas 13 y 14 se muestran los valores con los cuáles se estudiará el desempeño térmico de las paredes que componen el cerramiento de las viviendas para el caso de ambos sistemas constructivos incluida la estructura interna. Sin embargo, también se ha decidido estudiar la incidencia térmica de la estructura interna cuando teóricamente en el interior de la vivienda existe confort térmico en su rango mínimo, es decir 18 °C. Se realiza esta comparación para estudiar la incidencia de los puentes térmicos e identificar los lugares por donde la pérdida de calor es más alta.

El análisis con Therm se hace para cada una de las secciones de las viviendas. El análisis donde la sección no posee estructura interior se corresponde con la primera etapa de simulaciones. En el caso del sistema constructivo LSF, la simulación se hace más extendida debido a la posición de la capa de aislamiento variando su ubicación, tanto hacia la cara interior del muro como hacia la cara exterior. Se realiza esta consideración debido a que en el estado de arte se presentaron tres tipologías de paredes con este sistema constructivo. En resumen, existen 3 configuraciones de acuerdo a la posición del aislamiento térmico, cada una orientada a un tipo de clima especifico. Pared Fría, Cálida e Híbrida.

En la ciudad de Cuenca, al no existir una variación extrema de temperaturas durante el año, se opta por la solución de Pared Fría, donde solo la mitad de la sección posee aislamiento térmico y la segunda mitad, una capa de aire. Por lo cual, es necesario entender que posición del aislamiento térmico dentro de la pared se comporta mejor en las simulaciones para las condiciones climáticas de la ciudad y la zona donde se encuentra la vivienda.

Luego de realizar las simulaciones térmicas para las secciones de las paredes de cierre de ambos sistemas constructivos, mediante Therm, se evidencia que la estructura interior posee una transmitancia térmica alta (Factor U), es decir su flujo de calor (W), genera puentes térmicos en ambos sistemas constructivos donde los materiales poseen baja resistencia térmica (Factor R).

Estos estudios se evidencian en las Imágenes 35 y 36. La primera imagen muestra el desempeño energético cuando la pared no posee estructura interna, y la segunda imagen, cuando la estructura de acero con sección (I) está presente. Así mismo, las Imágenes 37 y 38 muestran los resultados para las viviendas con LSF, la primera sin estructura y la segunda con estructura de Tracks y Studs.

En el sistema constructivo Mixto de ladrillo y acero los valores de la transmitancia térmica (Factor U) son mucho mayores en las paredes con estructura de acero donde el mayor fujo de calor (W) se produce en las columnas y vigas. En todos los análisis de las secciones de este sistema constructivo cuando la Temperatura Operativa Interior (TO) es la real o la teórica de confort de 18 °C se produce el mismo puente térmico. Es así como este sistema constructivo, a pesar que tiene menos infiltraciones de aire 10 ACH50 en comparación a los 25 ACH50 del sistema constructivo LSF, presenta importantes puentes térmicos y no están mitigados.

En la propuesta de la vivienda con el sistema constructivo LSF, la transmitancia térmica (Factor U) de la estructura es menos pronunciada individualmente hablando, pero cuando se considera todo el entramado de perfiles los valores son importantes. En el caso de la estructura del sistema constructivo LSF, la ubicación cercana entre perfiles y el hecho de que estos están en contacto directo con las placas o capas de cierre de los paneles que conforman las paredes, la estructura interna provoca los puentes térmicos en todos los puntos donde existe un perfil de acero liviano.

Como se mencionó con anterioridad, en Desing Builder no se modeló los elementos individuales que conforman la estructura interior de las edificaciones. Por lo tanto, se ha elaborado la disminución del valor del factor térmico R porcentualmente. El 100% corresponde al valor ingresado en la primera etapa de la simulación donde no se consideró la estructura interna en ambos sistemas constructivos. En consecuencia, la Transmitancia Térmica se incrementa porcentualmente con los resultados del análisis en Therm. Así pues, se ha establecido que los materiales que intervienen en la sección constructiva, debido a la presencia de la estructura interna, bajan su Resistencia Térmica, es decir su Factor R, en un promedio de hasta un 67,78% como se observa en la Imagen 39. En esta imagen se puede comprobar estos incrementos, analizando los gráficos por parejas T01 con T02, T03 con T04 y así sucesivamente. Por lo tanto, los gráficos por parejas muestran los cambios de los factores R, U y W con la incidencia de la estructura interna en cada sistema constructivo.

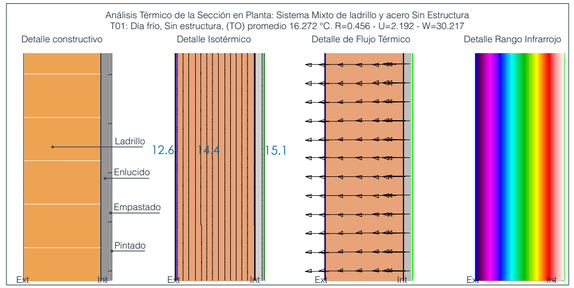


Imagen 35: Análisis Térmico de la Sección en Planta: Sistema Mixto de ladrillo y acero Sin Estructura
Fuente: Los Autores

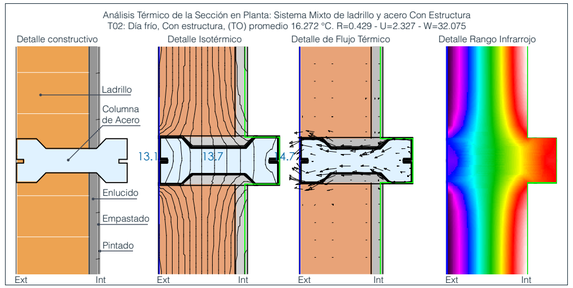


Imagen 36: T02: Análisis Térmico de la Sección en Planta: Sistema Mixto de ladrillo y acero Con Estructura
Fuente: Los Autores

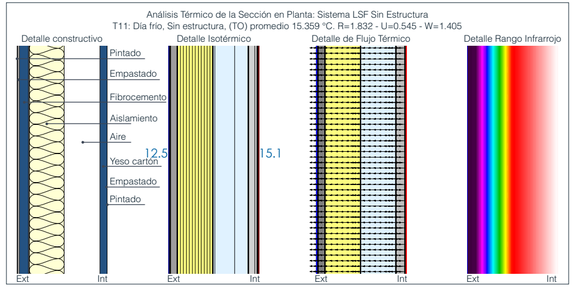


Imagen 37: T11: Análisis Térmico de la Sección en Planta: Sistema LSF Sin Estructura
Fuente: Los Autores

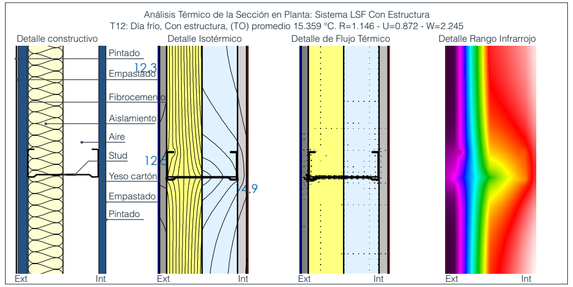


Imagen 38: Análisis Térmico de la Sección en Planta: Sistema LSF Con Estructura
Fuente: Los Autores

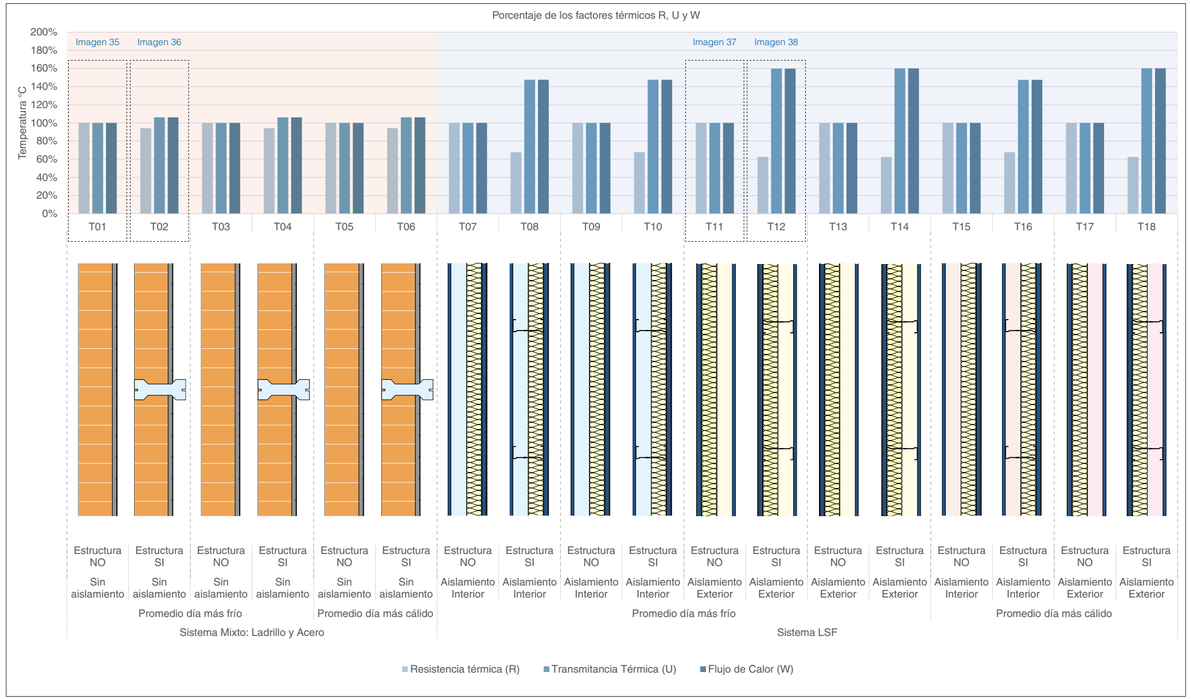


Imagen 39: Resultados de los factores R, U y W. Se muestra el incremento del Flujo de Calor analizando la estructura interna
Fuente: Los Autores

Tabla 15: Condiciones para la Etapa 02 de simulaciones

No.	Sistema Constructivo		Tipología de vivienda	Combinación de Variables
	Tipo	Características		
E2_01	Sistema mixto: Ladrillo y Acero 10 ACH50	1.- Cimentación y Estructura: Zapatas aisladas, Acero estructural. 2.- Entrepiso y Cubierta: Losa de hormigón y Fibrocemento ondulado. 3.- Paredes y acabados: Ladrillo, Enlucido, Empastado y Pintado. 4.- Puertas y Ventanas: Acero y Madera, Aluminio y Vidrio simple. 5.- Acabados de suelos y cielos: Cerámica, Piso flotante y Estucados. 6.- Aislamiento térmico: Ninguno.	Medianera	Vivienda Ladrillo Medianera + Orientación Norte + 10 ACH50
E2_02				Vivienda Ladrillo Medianera + Orientación Sur + 10 ACH50
E2_03			Esquinera	Vivienda Ladrillo Esquinera + Orientación Norte + 10 ACH50
E2_04				Vivienda Ladrillo Esquinera + Orientación Sur + 10 ACH50
E2_05			Aislada	Vivienda Ladrillo Aislada + Orientación Norte + 10 ACH50
E2_06				Vivienda Ladrillo Aislada + Orientación Sur + 10 ACH50
E2_07	Sistema LSF 25 ACH50	1.- Cimentación y Estructura: Losa de hormigón, Tracks y Studs. 2.- Entrepiso y Cubierta: Fibrocemento, Fibrocemento ondulado y OSB 3.- Paredes y acabados: Fibrocemento y Yeso Cartón, Empastado y Pintado. 4.- Puertas y Ventanas: Acero y Madera, Aluminio y Vidrio simple. 5.- Acabados de suelos y cielos: Porcelanato y Piso flotante, Estucados. 6.- Aislamiento térmico: Lana de roca 50mm solo en paredes.	Medianera	Vivienda LSF Medianera + Orientación Norte + 25 ACH50
E2_08				Vivienda LSF Medianera + Orientación Sur + 25 ACH50
E2_09			Esquinera	Vivienda LSF Esquinera + Orientación Norte + 25 ACH50
E2_10				Vivienda LSF Esquinera + Orientación Sur + 25 ACH50
E2_11			Aislada	Vivienda LSF Aislada + Orientación Norte + 25 ACH50
E2_12				Vivienda LSF Aislada + Orientación Sur + 25 ACH50

4.2.4. Etapa 02 de simulaciones

Para esta Etapa de simulaciones se realiza la reducción de la Resistencia Térmica Promedio (Factor R), [R = m2K/W] de los materiales que componen los paneles de cierre de las viviendas de un 100% inicial a un 67.78% debido a la incidencia de la estructura interna en ambos sistemas constructivos. La reducción se hace necesaria debido a la metodología de trabajo de la herramienta de Desing Builder, dado que no se han modelado los elementos de la estructura de manera individual en las viviendas de estudio con ambos sistemas constructivos. Por lo tanto, se ingresa la reducción de la Resistencia Térmica de manera porcentual, valor antes mencionado a fin de realizar las nuevas simulaciones contemplando los puentes térmicos que se dan en las viviendas para obtener resultados más acordes a la realidad constructiva.

En el caso particular de la vivienda de estudio de la urbanización Los Capulíes, en el análisis realizado en Therm se observa que la inercia térmica de las paredes de ladrillo actúa mitigando los efectos del puente térmico. Así mismo, en el caso del sistema constructivo LSF, el entramado de elementos de acero liviano también genera puentes térmicos importantes debido a la gran cantidad de perfiles que son utilizados para conformar la estructura de la edificación.

En este apartado, se analizarán solamente doce simulaciones donde se tiene en cuenta únicamente las orientaciones más desfavorables, según la primera etapa son las orientaciones con la fachada principal hacia el Norte y hacia el Sur, las cuáles reciben una menor cantidad de radiación solar durante el año. La Tabla 15 recoge la información de las simulaciones a realizarse en esta etapa. En el apartado anterior se dejó en evidencia la variación de la resistencia térmica de los materiales que intervienen en las paredes cuando se analiza la sección con la estructura interna, siendo de un 67,78% respecto de la resistencia térmica real que indican las fuentes consultadas, específicamente los valores que se mencionan en la Norma NEC. En Desing Builder es necesario ingresar los nuevos valores de la resistencia térmica en todos los materiales de ambos sistemas constructivos para obtener resultados lo más cercanos a la realidad. Los nuevos valores de la Resistencia Térmica en Desing Builder están disminuidos el porcentaje antes mencionado.

Los puentes térmicos de las estructuras internas de la sección menguan la cantidad de calor que se mantiene en el interior de las viviendas. El mes más frío se da en julio y el día más frío del año es el 30 del mismo mes. Por consiguiente, el mes más caliente es diciembre y el día

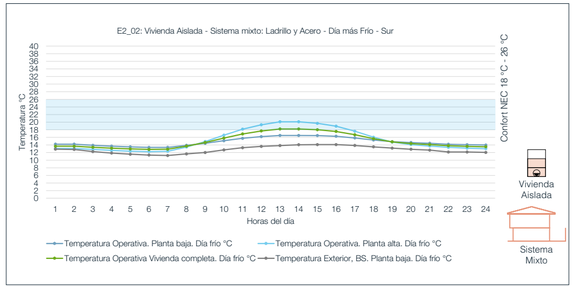


Imagen 40: Resultados térmicos horarios de la Etapa 02 de Simulaciones, sistema Mixto, día más frío
Fuente: Los Autores

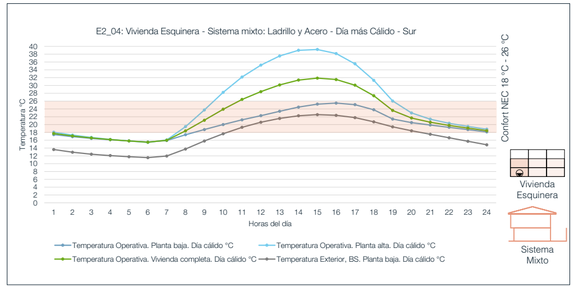


Imagen 41: Resultados térmicos horarios de la Etapa 02 de Simulaciones, sistema Mixto, día más caliente
Fuente: Los Autores

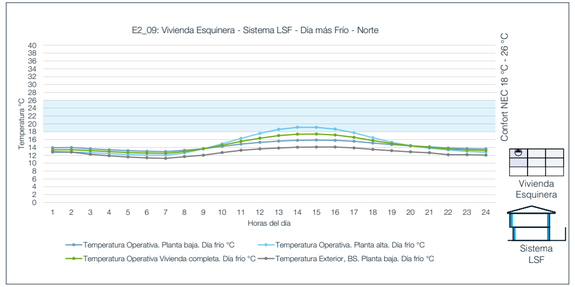


Imagen 42: Resultados térmicos horarios de la Etapa 02 de Simulaciones, sistema LSF, día más frío
Fuente: Los Autores

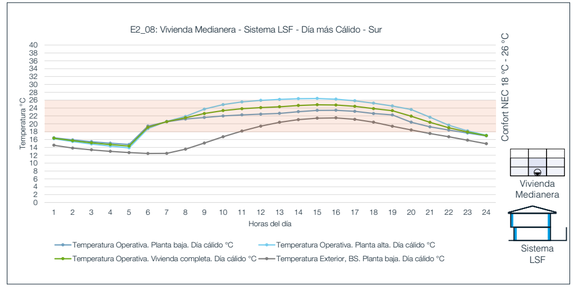


Imagen 43: Resultados térmicos horarios de la Etapa 02 de Simulaciones, sistema LSF, día más caliente
Fuente: Los Autores

anual más cálido es el 16 del mismo mes. Las Imágenes 40 y 41 corresponden al sistema mixto de ladrillo y acero. En el caso del día más frío la vivienda entra en confort únicamente las horas del 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 temperaturas altas al mediodía. En consecuencia, la vivienda sufre sobrecalentamiento. Las Imágenes 42 y 43 corresponden al sistema 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, siendo las horas de la madrugada las que están en inconfort térmico. Sin embargo, se observa que la curva de la Temperatura Operativa Interior (TO) tiende a la horizontalidad durante las 24 horas del día en el día más frío y el día más cálido. Con el sistema LSF no se observan cambios bruscos de temperatura. Los picos máximos y mínimos son menos pronunciados que el sistema de referencia para la comparación.

En la Imagen 44 se representa gráficamente los valores de la cantidad de horas confort diarias. El sistema mixto de ladrillo y acero posee mejores resultados en comparación al LSF con 17 horas diarias de confort térmico un 71%, mientras que, el LSF alcanza 8 horas un 33%. Por lo tanto, es necesario entender el aporte de las capas de aislamiento térmico, de la misma manera la incidencia de los materiales de carpinterías y los niveles de infiltraciones de aire. Se muestran los resultados únicamente en las orientaciones más desfavorables dado que con la incidencia de los puentes térmicos las temperaturas bajas son más críticas que las altas.

4.2.5. Análisis de las diferentes configuraciones de aislamiento térmico en las viviendas con LSF

En el estudio, para el caso particular de la ciudad de Cuenca, se utiliza la configuración de Pared Fría,

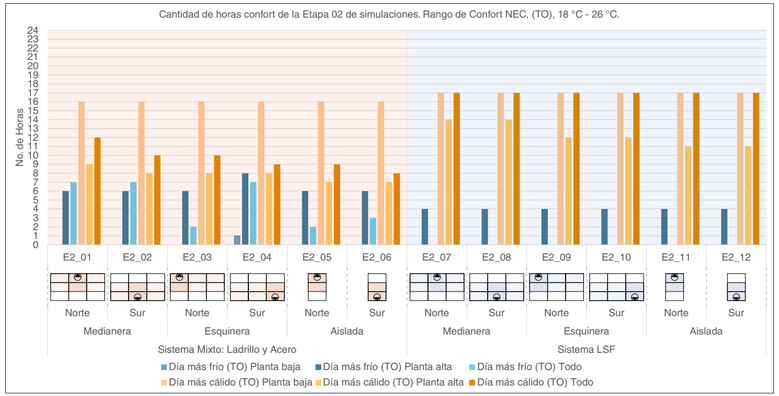
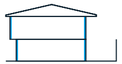
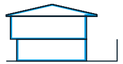
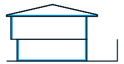
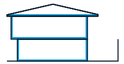


Imagen 44: Cantidad de horas confort de la Etapa 02 de Simulaciones
Fuente: Los Autores

Tabla 16: Análisis de las diferentes configuraciones de aislamiento térmico en las viviendas con LSF

				
A01	A02	A03	A04	A05
Aislamiento en paredes de cierre	Aislamiento perimetral sin entrepiso	Aislamiento perimetral más entrepiso	Aislamiento perimetral sin cubierta	Aislamiento perimetral sin cubierta más entrepiso
Estado del aislamiento en todas las simulaciones de la primera y segunda etapa.	Se realiza la comprobación de la posición de las capas de aislamiento en la vivienda con el peor rendimiento energético.Vivienda con el sistema LSF, orientación fachada principal Norte, 25 ACH50.			

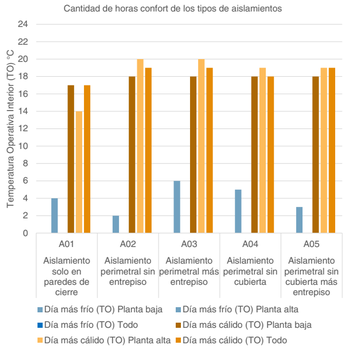
caracterizada por tener la capa de aislamiento térmico hacia el exterior y una cámara de aire hacia el interior. Esta tipología de pared retiene mejor el calor en el interior de las viviendas como se observan los análisis de las viviendas realizados mediante Therm. Sin embargo, es muy importante conocer la colocación del aislamiento de la vivienda a nivel general no solo en las paredes.

Para identificar las mejores configuraciones de aislamiento en la propuesta de la vivienda con LSF se plantea cuatro casos más que se suman al caso inicial A01: Aislamiento solo en paredes de cierre, el cual hace referencia a la forma de construir en el medio nacional con este sistema constructivo, utilizar únicamente el aislamiento térmico en las paredes. Los demás son; A02: Aislamiento perimetral sin entrepiso, considera una capa de aislamiento en la losa de cimentación y otra en toda la superficie de la cubierta. De esta manera la vivienda queda homogéneamente sellada en todas las caras de su perímetro incluidas las paredes interiores. No se considera colocar aislamiento en el entrepiso. A03: Aislamiento perimetral más entrepiso, suma al caso anterior el aislamiento en el entrepiso dejando cada espacio de la vivienda sellado herméticamente con capas de aislamiento térmico. A04: Aislamiento perimetral sin cubierta, en este caso se coloca la capa de aislamiento en el cielo raso superior dejando la cubierta sin aislamiento para comparar la diferencia del rendimiento con el caso anterior. A05: Aislamiento perimetral sin cubierta más entrepiso, es el caso anterior donde se suma la capa de aislamiento térmico al entrepiso. Así la vivienda queda sellada herméticamente quedando la cubierta sin aislamiento.

En la Tabla 16 se observan los detalles para la simulación de las condiciones de aislamiento. Todas las simulaciones, cinco en total, se harán tomando como base a la vivienda más desfavorable en rendimiento energético de la Etapa 02, la misma es la E2_07: Vivienda LSF Medianera,

Tabla 17: Horas confort de los 5 aislamientos

No.	Día más frío (TO)			Día más cálido (TO)		
	Planta baja	Planta alta	Todo	Planta baja	Planta alta	Todo
A01	0	4	0	17	14	17
A02	0	2	0	18	20	19
A03	0	6	0	18	20	19
A04	0	5	0	18	19	18
A05	0	3	0	18	19	19



Orientación Norte, Infiltraciones de 25 ACH50. Esta vivienda es la más común de la urbanización los Capulíes y es la base de donde nacen las demás tipologías de vivienda. Por lo tanto, el análisis de las mejores configuraciones de aislamiento se hará en la vivienda que menos horas confort posee. El margen de precisión para el conteo de las horas confort es del valor absoluto de la unidad comprendida entre 18 y 26 grados Celsius. Por lo tanto, no se aprecian los valores cercanos.

Los resultados indican que la vivienda base A01, tiene peor desempeño promedio. Los casos A02 y A03 son similares. Sin embargo, la vivienda A03 debido a una mejor configuración de las superficies aisladas térmicamente por las capas de aislamiento en el piso, entrepiso y la cubierta generan 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. Así, la curva de temperaturas tiende, en mayor medida, a la horizontalidad. Los casos A04 y A05 responden de peor manera que los dos anteriores. Esto significa que el aislamiento en la cubierta y en el suelo es necesario.

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

Para alcanzar niveles óptimos de confort interior térmico en una vivienda es clave estudiar el comportamiento energético de todas las carpinterías de la edificación.

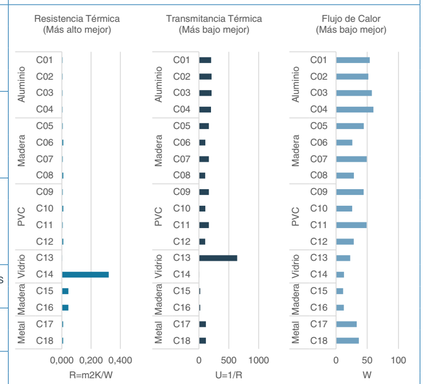
Los materiales para carpinterías más utilizados en el país son los perfiles de aluminio, sumado al vidrio simple, conforman las ventanas de mayor uso. Sin embargo, también existen perfiles de madera, aunque su uso es, en su mayoría, artesanal. También existe la alternativa de perfiles de PVC para carpinterías los cuáles brindan mejores resultados en materia de rendimiento energético. Normalmente las ventanas y puertas son de vidrio simple.

La pérdida de calor desde el interior de una vivienda por infiltraciones de aire a 50Pa (ACH50) se representa porcentualmente de la siguiente manera; un 58.3%

Tabla 18: Configuración de las simulaciones de carpinterías

No.	Tipo de carpintería	Material de carpinería	Condición climática	Configuración de los paneles	Observaciones
C01	Ventana	Aluminio	Día caliente	Vidrio simple	Perfiles comerciales estándar
C02				Vidrio doble	
C03			Día frío	Vidrio simple	
C04				Vidrio doble	
C05	Ventana	Madera	Día caliente	Vidrio simple	Carpintería artesanal
C06				Vidrio doble	
C07			Día frío	Vidrio simple	
C08				Vidrio doble	
C09	Ventana	PVC	Día caliente	Vidrio simple	Perfiles comerciales estándar
C10				Vidrio doble	
C11			Día frío	Vidrio simple	
C12				Vidrio doble	
C13	Ventana	Vidrio	Indiferente	Vidrio simple	Análisis del comportamiento exclusivo de los paneles de vidrio. No se analiza la carpintería.
C14				Vidrio doble	
C15	Puerta	Madera	Día caliente	Hoja simple	Puerta con hoja simple de madera MDF
C16			Día frío	Hoja simple	
C17	Puerta	Acero	Día caliente	Hoja simple	Puerta con hoja simple de lámina de acero
C18			Día frío	Hoja simple	

Resultados



debido al mal cierre de puertas, 30.7% al mal cierre de ventanas, 6.1% a la deformación de muros y el 4.9% a los paneles de vidrio en mal estado o mal sellados en edificaciones con sistemas de construcción húmeda en Santiago de Chile (Macari Urra, 2013). Se observa que la calidad constructiva incide directamente en los niveles de infiltraciones de aire. Por lo tanto, el sellado de juntas entre carpinterías y muros debe ser completamente hermético ya que las principales pérdidas de calor se dan a través de los elementos de carpintería.

Es imprescindible estudiar las diferentes configuraciones de carpinterías para conocer las pérdidas de calor de acuerdo a los materiales utilizados localmente. Por lo tanto, existe la necesidad de analizar mediante Therm las secciones y encontrar una solución que mitigue los efectos de las condiciones climáticas en todas las carpinterías de la vivienda que dan hacia los exteriores debido a que estos elementos no presentan el mismo nivel de resistencia térmica que las paredes. Es decir, la resistencia térmica de los materiales de las carpinterías es baja. En la Tabla 18 se presentan los diferentes análisis a realizarse de las carpinterías. Por lo tanto, las simulaciones pueden ser analizadas por la configuración de los paneles y la condición climática.

Los resultados indican que las carpinterías de aluminio (C01 y C03), para el caso de las ventanas, y las carpinterías de acero (C17 y C18), para el caso de las puertas, son las opciones menos eficientes dentro de los grupos estudiados. Estas soluciones se encuentran en la vivienda en estado actual. Por consiguiente, las mejores elecciones ante las opciones metálicas son las carpinterías de madera (C05 y C07). Sin embargo, la opción que mejor resultado ofrece es la utilización del PVC como material de carpintería (C09 y C11). En las simulaciones se observa

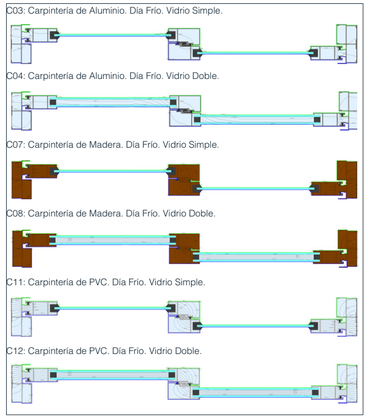


Imagen 45: Configuración de los materiales de las diferentes carpinterías
Fuente: Los Autores

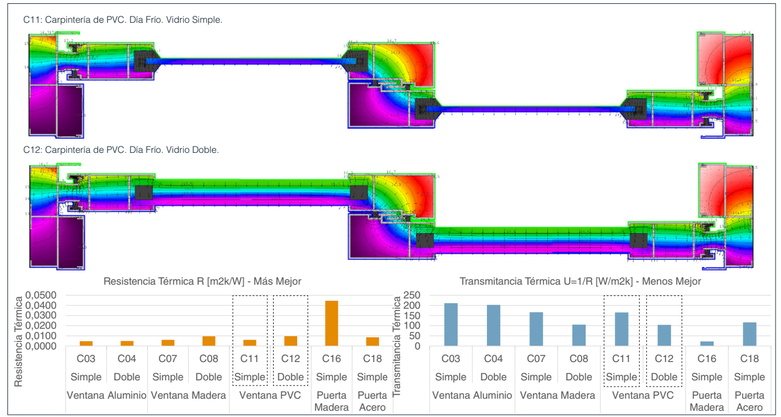


Imagen 46: Resultados térmicos del PVC con vidrio simple y vidrio doble
Fuente: Los Autores

que esta opción ofrece resultados térmicos más eficientes. Las comparaciones con vidrio doble en el estudio se reflejan en la Imagen 45.

En la Imagen 46 se muestra los resultados donde se ha estudiado la influencia de los paneles de vidrio en el desempeño energético de una ventana, tanto los simples como los dobles. Las simulaciones demuestran que el rendimiento energético de los paneles dobles (C14) con cámara de aire intermedia es mucho más favorable debido a que la resistencia térmica del conjunto es considerablemente mayor en comparación al panel de vidrio simple (C13). Es decir que la transmitancia térmica es mejor y por ende el flujo de calor es bajo. Sin embargo, el sellado de las juntas entre los materiales debe ser, en medida de lo posible, perfeto para que las pérdidas de calor desde el interior de las viviendas serán mínimas.

Los resultados en cuanto a materiales de carpinterías, indican que mientras más bajo sea el nivel de transmitancia térmica (Factor U) mejor será el desempeño térmico de la vivienda en general, esto significa que la Resistencia Térmica (Factor R) en conjunto es más alta. La comparativa de resultados térmicos de la Imagen 46 indican que la madera sería una alternativa viable. Sin embargo, es un recurso natural que cada vez es más escaso. Por lo tanto, el PVC ofrece características similares a la madera y en conjunto un mejor rendimiento energético. Es así como este material se coloca como una opción a tener en cuenta para optimizar las carpinterías durante la vida útil de la vivienda ya que junto a los paneles de vidrio doble se disminuye considerablemente las pérdidas de calor desde el interior de la vivienda.

El sellado hermético de las cámaras de aire es un requisito fundamental para que la utilización del vidrio doble

Tabla 19: Condiciones para la Etapa 03 de simulaciones

No.	Sistema Constructivo		Tipología de vivienda	Combinación de Variables
	Tipo	Características		
E3_01	Sistema mixto: Ladrillo y Acero 10 ACH50 3.7 Usuarios 13.31 W/m2	1.- Cimentación y Estructura: Zapatas aisladas, Acero estructural. 2.- Entrepiso y Cubierta: Losa de hormigón y Fibrocemento ondulado. 3.- Paredes y acabados: Ladrillo, Enlucido, Empastado y Pintado. 4.- Puertas y Ventanas: Acero y Madera, Aluminio y Vidrio simple. 5.- Acabados de suelos y cielos: Cerámica, Piso flotante y Estucados. 6.- Aislamiento térmico: Ninguno.	Medianera	Vivienda Ladrillo Medianera + Orientación Sur + 10 ACH50
E3_02				Vivienda Ladrillo Medianera + Orientación Este + 10ACH50
E3_03			Esquinera	Vivienda Ladrillo Esquinera + Orientación Sur + 10 ACH50
E3_04				Vivienda Ladrillo Esquinera + Orientación Este + 10 ACH50
E3_05			Aislada	Vivienda Ladrillo Aislada + Orientación Sur + 10 ACH50
E3_06				Vivienda Ladrillo Aislada + Orientación Este + 10 ACH50
E3_07	Sistema LSF 10 ACH50 3.7 Usuarios 13.31 W/m2	1.- Cimentación y Estructura: Losa de hormigón, Tracks y Studs. 2.- Entrepiso y Cubierta: Fibrocemento, Fibrocemento ondulado y OSB 3.- Paredes y acabados: Fibrocemento y Yeso Cartón, Empastado y Pintado. 4.- Puertas y Ventanas: Madera, Madera y Vidrio simple. 5.- Acabados de suelos y cielos: Porcelanato y Piso flotante, Estucados. 6.- Aislamiento térmico: EPS en Losa, Lana de roca de 50 mm en paredes, entrepisos y cubierta.	Medianera	Vivienda LSF Medianera + Orientación Sur + 10 ACH50
E3_08				Vivienda LSF Medianera + Orientación Este + 10 ACH50
E3_09			Esquinera	Vivienda LSF Esquinera + Orientación Sur + 10 ACH50
E3_10				Vivienda LSF Esquinera + Orientación Este + 10 ACH50
E3_11			Aislada	Vivienda LSF Aislada + Orientación Sur + 10 ACH50
E3_12				Vivienda LSF Aislada + Orientación Este + 10 ACH50

tenga efecto, de lo contrario el uso de esta solución no tiene el efecto deseado. En el mercado existen ventanas prefabricadas con vidrio doble. Pero su costo es más elevado por lo que se ha estudiado las carpinterías con las soluciones que son más utilizadas en la construcción de este tipo de viviendas. Además, el estado actual de la vivienda de ladrillo de referencia no posee soluciones de alta gama. Las carpinterías, como se mencionó con anterioridad son de fabricación artesanal.

4.2.7. Etapa 03 de simulaciones

En esta etapa de simulaciones se hace un análisis más profundo con todas las condiciones y parámetros para la evaluación virtual definidos anteriormente en la Tabla 11. Las viviendas se analizan teniendo en cuenta la orientación más desfavorable (Sur) y la orientación óptima (Este) en función de los datos de la Temperatura Operativa Interior (TO) en la Etapa 02 para contrarrestar los resultados en ambos casos. En esta etapa se busca identificar el desempeño de la vivienda con el sistema LSF realizando cambios en tres consideraciones; configuración de aislamientos, infiltraciones y carpinterías. Las ganancias internas producidas por los usuarios son: 3.7 usuarios y 13.31 W/m2 por aparatos eléctricos.

Para la vivienda de referencia con el sistema constructivo Mixto de ladrillo y acero se mantienen las 6 características del sistema constructivo descritas en la Tabla 15. Sin embargo, la vivienda con LSF mejora las características del sistema constructivo en la configuración de aislamientos. Pasando de utilizar los aislamientos térmicos únicamente en paredes en las etapas anteriores a utilizar aislamiento de EPS en la losa de cimentación, aislamiento térmico en paredes, entrepisos y cubierta. Es decir, se utilizará la solución de la simulación A03 (Aislamiento perimetral más entrepiso). Con esta solución se disminuye el nivel de infiltraciones de aire de 25 a 10 ACH50 según el "Impacto de las infiltraciones de aire en el desempeño energético y térmico de las viviendas" de (Madrid et al., 2012) en Santiago de Chile donde se expone que para el caso de viviendas con sistemas constructivos livianos o prefabricados de índole social estos intercambios son de 25 ACH50. Por el contrario, cuando se cuidan las infiltraciones de aire producidas por la calidad del sistema constructivo es posible obtener valores menores, los cuáles pueden ser igual o menores a los de la vivienda de ladrillo. Finalmente, se cambian las configuraciones de las carpinterías pasando de ventanas de aluminio y vidrio simple a ventanas de madera y vidrio simple. Puertas de acero a puertas de aglomerados de madera laminada. Se analiza un total de doce viviendas, en la Tabla 19 se muestra en detalle las simulaciones a realizarse.

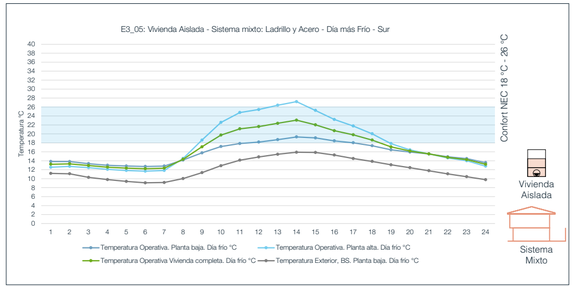


Imagen 47: Resultados térmicos horarios de la Etapa 03 de Simulaciones, sistema Mixto, día más frío
Fuente: Los Autores

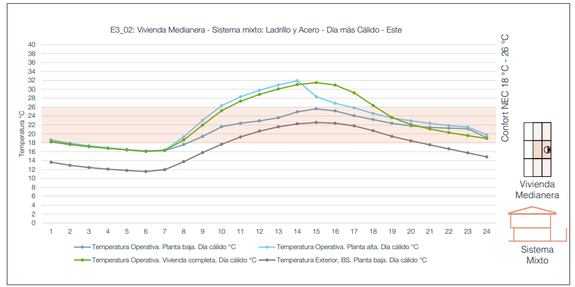


Imagen 48: Resultados térmicos horarios de la Etapa 03 de Simulaciones, sistema Mixto, día más caliente
Fuente: Los Autores

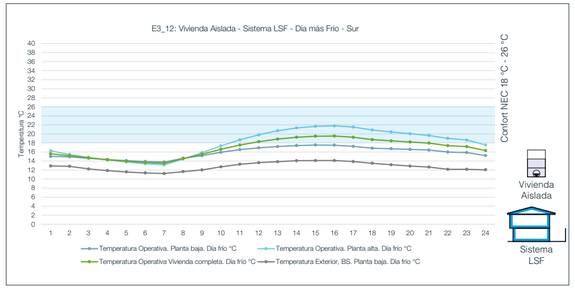


Imagen 49: Resultados térmicos horarios de la Etapa 03 de Simulaciones, sistema LSF, día más frío
Fuente: Los Autores

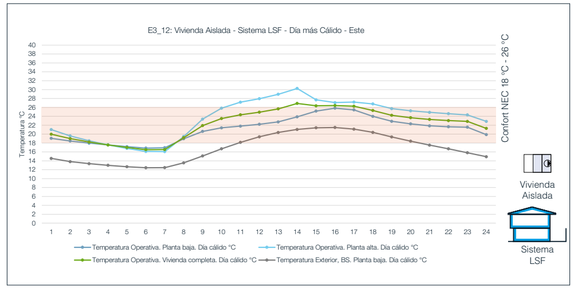


Imagen 50: Resultados térmicos horarios de la Etapa 03 de Simulaciones, sistema LSF, día más caliente
Fuente: Los Autores

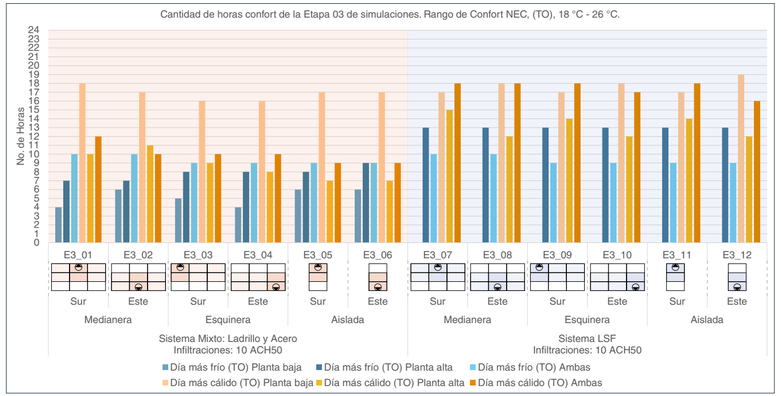


Imagen 51: Cantidad de horas confort de la Etapa 03 de Simulaciones
Fuente: Los Autores

Concluidos los análisis de esta etapa de simulaciones es posible obtener varias conclusiones. El sistema Mixto de ladrillo y acero mantiene su promedio de temperaturas con respecto a la Etapa 02 ya que no se ha optimizado su rango de valores por infiltraciones dado que se analiza la vivienda en su estado actual. Sin embargo, los niveles térmicos del sistema LSF son más elevados. El mes más frío se produce en julio y el más cálido es diciembre. Además, los valores mínimos de la Temperatura Operativa Interior (TO) se elevan entre 1 y 2 °C.

Los análisis horarios en el día más frío y el más cálido para ambos sistemas constructivos son distintos. En las Imágenes 47 y 48 se observan a las viviendas con el sistema Mixto de ladrillo y acero. En el día más frío se obtiene 6, 8 y 9 horas confort para planta baja, planta alta y vivienda completa respectivamente. La vivienda en general posee el valor de la (TO) más bajo de 12.34 °C y el máximo en 23.06 °C. El día más caliente presenta 17, 11, 10 horas confort para planta baja, planta alta y vivienda completa respectivamente. La vivienda completa presenta 16.29 °C como valor mínimo y 31.48 °C en su valor más alto. En el caso del día frío solamente se alcanza un 38% de confort interior térmico, en la noche y la madrugada se dan las horas más críticas, y para el día más caliente el valor sube hasta un 42%, en este día la vivienda presenta sofocamiento desde las 10:00 hasta las 18:00.

En las Imágenes 49 y 50 se muestran los resultados del sistema LSF. En el día más frío se dan 0, 13 y 9 horas confort para planta baja, planta alta y vivienda completa respectivamente. La vivienda llega a un 38% de confort interior térmico con valores entre los 13.47 °C y 19.52 °C. En el día más caliente se dan 19, 12 y 16 horas confort para planta baja, planta alta y vivienda completa respectivamente. La vivienda completa llega a un 67% de confort interior térmico con un rango de temperaturas entre los 16.53 °C y 26.89 °C. En comparación con el sistema Mixto de ladrillo y acero, la vivienda con LSF tiene las curvas horarias de temperatura más homogéneas con menos fluctuaciones extremas. No se producen extremos de temperaturas bajas o sofocamiento por temperaturas altas.

4.2.8. Etapa 04 de simulaciones

En esta etapa de simulaciones se busca mejorar el rango de temperaturas para alcanzar un número mayor de horas confort. El objetivo es conocer el rendimiento energético de la vivienda con estándares de calidad en la construcción altos sin la utilización de soluciones de calefacción y refrigeración activas. En la Etapa 03, tanto en el día más frío, así como en el día más caliente, en ambos sistemas constructivos no se alcanzan valores térmicos interiores donde su porcentaje sea superior al 50% de horas confort diarias. En estas circunstancias, es necesario mejorar la calidad constructiva del sistema tradicional, este parámetro se mide en el valor de las infiltraciones de aire, cuando la vivienda es de alta calidad constructiva los niveles de infiltraciones son menores.

El análisis virtual en esta etapa comprende varias consideraciones. Optimización de las infiltraciones de aire.

Tabla 20: Condiciones para la Etapa 04 de simulaciones

No.	Sistema Constructivo		Tipología de vivienda	Combinación de Variables
	Tipo	Características		
E4_01	Sistema LSF 7 ACH50 3.7 Usuarios 13.31 W/m2	1.- Cimentación y Estructura: Losa de hormigón, Tracks y Studs. 2.- Entrepiso y Cubierta: Fibrocemento, Fibrocemento ondulado y OSB 3.- Paredes y acabados: Fibrocemento y Yeso Cartón, Empastado y Pintado. 4.- Puertas y Ventanas: Madera, PVC y Vidrio Doble. 5.- Acabados de suelos y cielos: Porcelanato y Piso flotante, Estucados. 6.- Aislamiento térmico: EPS en Losa, Lana de roca de 50 mm en paredes, entrepisos y cubierta.	Medianera	Vivienda LSF Medianera + Orientación Sur + 7 ACH50
E4_02				Vivienda LSF Medianera + Orientación Este + 7 ACH50
E4_03			Esquinera	Vivienda LSF Esquinera + Orientación Sur + 7 ACH50
E4_04				Vivienda LSF Esquinera + Orientación Este + 7 ACH50
E4_05			Aislada	Vivienda LSF Aislada + Orientación Sur + 7 ACH50
E4_06				Vivienda LSF Aislada + Orientación Este + 7 ACH50

Aislamiento Integral de la vivienda desde la cimentación hasta la cubierta con el criterio de pared fría con la capa de aislante térmico hacia el exterior y una cámara de aire. Para el caso de las carpinterías en ventanas exteriores se utiliza PVC en perfiles y montantes, vidrio doble con cámara de aire y sellado en cada junta con siliconas y cintas adhesivas. Finalmente, todas las puertas son de aglomerado de madera con superficies de melamina.

Disminuir los niveles de infiltraciones de aire para conseguir una vivienda más hermética no es difícil cuando se concentran los esfuerzos en la calidad constructiva, estas consideraciones se mencionan en el estado de arte por varios investigadores. El valor de infiltraciones de 7 ACH50 se menciona en diferentes fuentes para el sistema constructivo LSF. La publicación de la comparativa de viviendas con LSF y entramado de madera expone un valor de 7.47 ACH50 (The U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research, 2002). Paralelamente, la (International Energy Conservation Code, 2009 IECC) comparte un valor de 7 ACH50, La (International Energy Conservation Code, 2012 IECC) menciona 5 y 3 ACH50. Por lo tanto, se analizan las tres tipologías de vivienda; medianera, esquinera y aislada, con el sistema constructivo LSF, optimizados sus valores de infiltraciones de aire medidos a 50Pa en un valor de 7 ACH50. La Tabla 20 ilustra las simulaciones a realizarse en este apartado.

Culminado el proceso de simulación, se observa que los valores promedio de Temperatura Operativa se incrementan como se aprecia en las Imágenes 52, 53, 54 y 55. En cuanto al día más frío se dan 0, 18 y 11 horas confort para planta baja, planta alta y vivienda completa respectivamente. Los valores de la Temperatura Operativa Interior (TO) se encuentran entre los 15.92 y 18.55 °C. Las diferencias entre los valores máximos y mínimos son menores. Por lo tanto, la curva térmica tiende mucho más a la horizontalidad. En consecuencia, las fluctuaciones extremas no se dan. El incremento de horas confort, con respecto a la etapa anterior, pasa de un 38% en la etapa anterior a un 46% en esta etapa con infiltraciones de 7 ACH50 y vidrio doble y cámara.

En el análisis del día más caliente, Imagen 55, se dan 24, 21 y 24 horas confort para planta baja, planta alta y vivienda completa respectivamente. Los valores de la Temperatura Operativa Interior (TO) 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 con el sistema Mixto de ladrillo y acero. La curva térmica horaria tiende a la horizontalidad, durante todo el día es más homogénea. El incremento de horas confort, con respecto a la etapa anterior, pasa de un 67% en la etapa anterior a un 100% con infiltraciones de 7 ACH50 y vidrio doble y cámara.

En el caso de las viviendas con el sistema Mixto de ladrillo y acero, por la materialidad utilizada, la curva térmica presenta importantes fluctuaciones térmicas. En el día más frío no existe confort interior térmico en las horas de descaso de los usuarios. Además, en el día más caliente la vivienda sufre de sofocación en el día y frío en las madrugadas. Por el contrario, las viviendas con LSF, a pesar de tener menor inercia térmica, la curva térmica es más homogénea durante todo el día. La cantidad de horas confort es superior. La Imagen 56 indica estos valores.

En esta etapa se observa que la variable de Infiltraciones de aire es la que más influye en la ganancia de temperatura a nivel general en la vivienda. Es decir que, la calidad constructiva es por mucho superior a la orientación de la vivienda. Paralelamente, la utilización de vidrio doble cámara en las carpinterías de ventanas ayuda a mantener la curva de temperaturas de manera más homogénea.

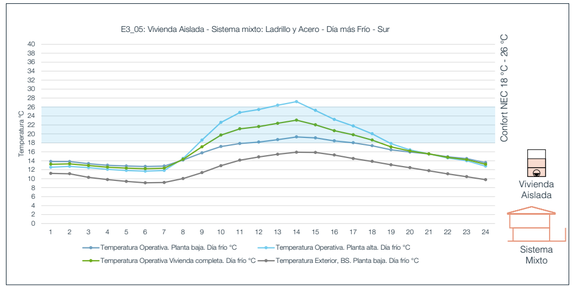


Imagen 52: Resultados térmicos horarios de la Etapa 03 de Simulaciones, sistema Mixto, día más frío
Fuente: Los Autores

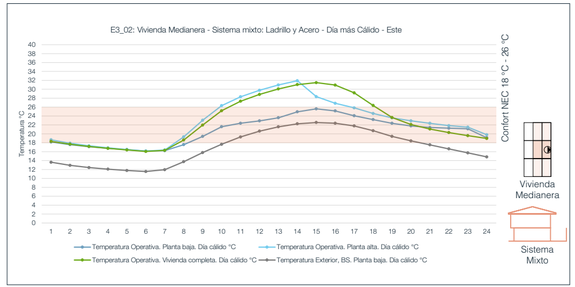


Imagen 53: Resultados térmicos horarios de la Etapa 03 de Simulaciones, sistema Mixto, día más caliente
Fuente: Los Autores

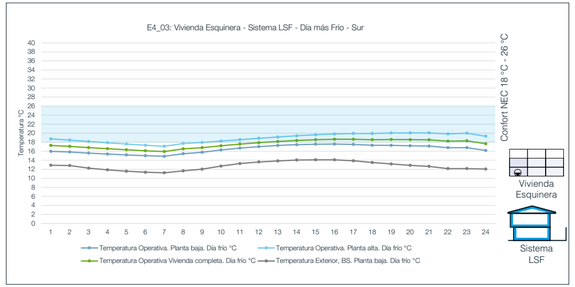


Imagen 54: Resultados diarios de la Etapa 04 de Simulaciones
Fuente: Los Autores

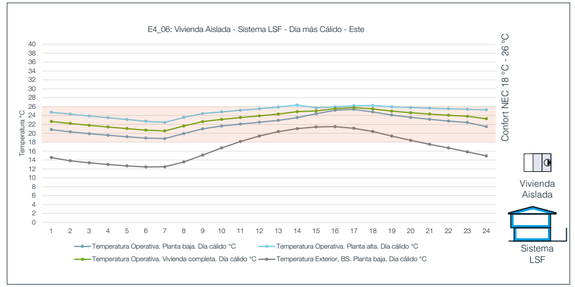


Imagen 55: Resultados diarios de la Etapa 04 de Simulaciones
Fuente: Los Autores

UNIVERSIDAD DE CUENCA

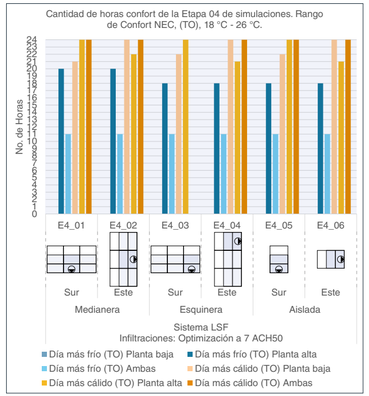


Imagen 56: Cantidad de horas confort de la Etapa 04 de Simulaciones
Fuente: Los Autores

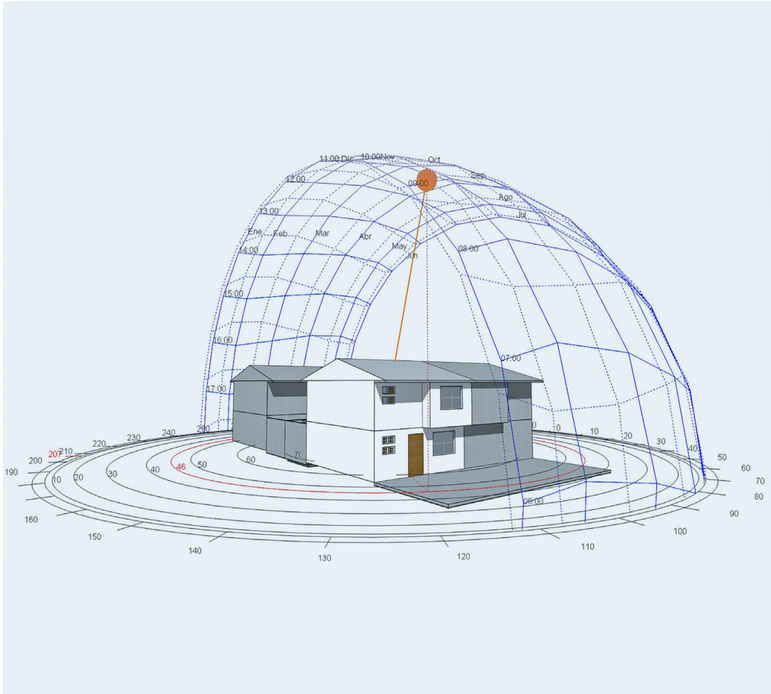


Imagen 57: Modelo digital 3D de la vivienda de estudio. Propuesta en LSF. Modelo de Desing Builder
Fuente: Los Autores

4.3. Análisis de Resultados

La incomodidad térmica (FDT) es el porcentaje de tiempo en el cual la temperatura operativa se encuentra fuera del rango de confort. Este indicador significa que el 100% de horas confort se da cuando las 24 horas del día están dentro del Rango de Confort Interior Térmico entre 18°C y 26°C. Por lo tanto, en este apartado se analizarán todos los datos térmicos que ofrece Desing Builder en cada simulación para cada una de las viviendas. Los valores son: anuales, mensuales, y diarios para representarlos porcentualmente y, de este modo, entender el alcance porcentual del rendimiento energético de las viviendas.

El análisis parte de un año calendario. Se divide en sus respectivos 12 meses, 365 días y 8760 horas. De esta manera se cuantifica la totalidad del tiempo en la que los usuarios utilizan la vivienda. Se analiza desde la Etapa 03 debido a que en las simulaciones anteriores no se contemplan las variables de los puentes térmicos producidos por la estructura interna.

En la Etapa 03, las viviendas con el sistema Mixto de ladrillo y acero, el porcentaje promedio de horas de un año que están en confort interior térmico es de un 51%. Por contraparte las viviendas con el sistema LSF, el valor promedio de horas de un año es de un 62%. Las viviendas de referencia, en su estado actual con el sistema constructivo Mixto de ladrillo y acero, no están dentro del Rango de Confort NEC la mitad del tiempo. Por el contrario, las viviendas con el sistema LSF con Optimización Estándar; aislamiento integral, carpinterías de madera y vidrio simple, superan a las viviendas de referencia con un 11% más dentro del Rango de Confort NEC. Los resultados se pueden consultar en la Imagen 58.

En la Etapa 04 de simulaciones, los resultados se

Tabla 21: Resumen general del proceso de simulación de las viviendas de estudio

	Etapa 01	Etapa 02	Etapa 03	Etapa 04
Cantidad	20 Simulaciones - Sin Puentes Térmicos	12 Simualciones - Con Puentes Térmicos	12 Simulaciones - Con Puentes Térmicos	6 Simulaciones - Con Puentes Térmicos
Sistema Constructivo	Mixto - LSF	Mixto - LSF	Mixto - LSF	LSF
Tipología de Vivienda	Medianera - Esquinera - Aislada	Medianera - Esquinera - Aislada	Medianera - Esquinera - Aislada	Medianera - Esquinera - Aislada
Implantación	Norte - Sur - Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Este	Sur - Este
Clima	Anual - Mensual - Diario	Anual - Mensual - Diario	Anual - Mensual - Diario	Anual - Mensual - Diario
Infiltraciones	10 - 25 (ACH50)	10 - 25 (ACH50)	10 - 10 (ACH50)	7 (ACH50)
Ganancias Internas	Sin determinar	3.7 Usuarios - 13.31W/m2	3.7 Usuarios - 13.31W/m2	3.7 Usuarios - 13.31W/m2
Estrategias Sistema Mixto de ladrillo y acero	1.- Cimentación y Estructura: Zapatas aisladas, Acero estructural. 2.- Entrepiso y Cubierta: Losa de hormigón y Fibrocemento ondulado. 3.- Paredes y acabados: Ladrillo, Enlucido, Empastado y Pintado. 4.- Puertas y Ventanas: Acero y Madera, Aluminio y Vidrio simple. 5.- Acabados de suelos y cielos: Cerámica, Piso flotante y Estucados. 6.- Aislamiento térmico: Ninguno.			No se hacen simulaciones
Estrategias Sistema LSF	1.- Cimentación y Estructura: Losa de hormigón, Tracks y Studs. 2.- Entrepiso y Cubierta: Fibrocemento, Fibrocemento ondulado y OSB 3.- Paredes y acabados: Fibrocemento, Yeso Cartón y Empastado y Pintado. 4.- Acabados de suelos y cielos: Porcelanato y Piso flotante, Estucados.			
	5.- Puertas y Ventanas: Acero y Madera, Aluminio y Vidrio simple. 6.- Aislamiento térmico: Lana de roca 50mm solo en paredes.		5.- Puertas y Ventanas: Madera, Madera y Vidrio simple. 6.- Aislamiento térmico: EPS en Losa, Lana de roca de 50 mm en paredes, entrepisos y cubierta.	5.- Puertas y Ventanas: Madera, PVC y Vidrio Doble. 6.- Aislamiento térmico: EPS en Losa, Lana de roca de 50 mm en paredes, entrepisos y cubierta.

observan en la Imagen 59, donde existe un incremento en el porcentaje del tiempo de confort interior térmico horario de las viviendas con el sistema LSF, los valores están en el 86%. Se observa que, gracias a la optimización de materiales con niveles altos de Resistencia térmica, vidrio doble con cámara de aire y la calidad constructiva de la vivienda con un valor de intercambio de aire de 7 ACH50 se mejora significativamente el rendimiento energético en comparación a la vivienda de referencia.

La comparativa de las Etapas 03 y 04 se ilustra en la Imagen 60. El LSF es el sistema constructivo que mejor rendimiento energético brinda ante las condiciones climáticas de la ciudad de Cuenca. Existe un promedio del 14% de inconfort térmico diario en las viviendas con este sistema constructivo.

La vivienda de referencia, edificada con el sistema tradicional de mampostería de ladrillo y estructura de acero, en su estado actual alcanza un 51% de confort interior térmico de un total de 8760 horas del año. La mitad del total de horas del año está fuera del rango de confort interior térmico NEC comprendido entre los 18 y 26 grados Celsius. Esto se debe, principalmente, a la calidad constructiva y a los materiales utilizados en general. La inercia térmica del ladrillo, único material envolvente de la vivienda en su estado actual, es mayor que la del LSF en conjunto. Sin embargo, la estructura de acero expuesta ante las condiciones naturales de manera directa sin protección térmica hace que se pierda buena parte del calor interno de la vivienda debido a la baja resistencia térmica del acero. Paralelamente, las puertas y ventanas, en su mayoría metálicas, no mitigan las pérdidas de calor en los días fríos y elevan la temperatura considerablemente en los días cálidos.

En el caso del sistema constructivo LSF se proponen dos edificaciones con la misma sección estructural donde se varía la calidad constructiva. El indicador de la variación se da con la diferencia del valor del nivel de infiltraciones, la primera vivienda se determina como “Vivienda con estrategias de optimización estándar a 10 ACH50”, y la segunda, “Vivienda con estrategias de optimización alta a 7 ACH50”.

Los resultados de la vivienda con el sistema LSF con estrategias de optimización estándar, estudiada en la Etapa 03, ofrece resultados superiores al sistema mixto de mampostería de ladrillo y acero. La diferencia del rendimiento es de un 11%. El porcentaje de horas del año que está dentro del rango de confort interior térmico NEC es de un 62% con las estrategias de 10 ACH50, ventanas de madera y vidrio simple, puertas de madera, sellado de juntas constructivas en puertas y ventanas, aislamiento continuo en piso, paredes y cubierta.

El rendimiento de la vivienda con el sistema LSF es mayor cuando se utiliza estrategias de optimización alta, viviendas estudiadas en la Etapa 04. Las estrategias son; 7 ACH50, ventanas de PCV y vidrio doble, puertas de madera, sellado de todas las juntas constructivas, aislamiento continuo en todas las superficies de la envolvente de la edificación incluida la losa de cimentación, entre otras. Los valores horarios de un año reflejan que un 86% del tiempo la vivienda adaptada a este sistema está dentro del rango de confort NEC de 18 a 26 grados Celsius. De un total de 8760 horas anuales, 7514 horas están en confort interior térmico. Esto representa un total de 313.08 días o 10.43 meses. Sin embargo, también se puede interpretar que el 86% de cualquier día del año los usuarios dentro de la vivienda con LSF están en confort interior térmico. Durante todo el día y la mayor parte de la noche la vivienda está dentro del rango de confort interior térmico. Las horas de la madrugada en los días más fríos que no están dentro del rango de confort corresponden a las horas de descanso de los usuarios por lo que la sensación de inconfort térmico puede ser mínima.

Los resultados de los valores de la Temperatura Operativa Interior (TO) en los cuáles las viviendas se encuentran fuera del Rango de Confort Interior Térmico NEC comprendido entre 18 y 26 grados Celsius, es decir los valores de inconfort son los siguientes; La vivienda en estado actual con el sistema constructivo mixto de mampostería de ladrillo y estructura de acero, la temperatura promedio por debajo de los 18 °C es de 15.38 °C y la temperatura promedio superior a los 26 °C es de 27.68 °C. Paralelamente, en el caso de la vivienda con LSF de estrategias de optimización estándar a 10 ACH50, la temperatura promedio debajo de los 18 °C es de 15.55 °C y la temperatura promedio superior a los 26 °C es de 26.38 °C. Finalmente, en el caso de la vivienda con LSF con estrategias de optimización altas a 7 ACH50, la temperatura promedio por debajo de los 18 °C es de 17.19 °C y la temperatura promedio superior a los 26 °C es nula debido a que no existen temperaturas horarias que superen los 26 °C.

Luego de analizadas las viviendas en cada una de las etapas de simulación las variables más importantes para el rendimiento energético en orden de mayor a menor influencia térmica son;

En primer lugar, están las Infiltraciones de Aire, mientras más bajo es el valor de infiltraciones a 50 Pa la vivienda posee una mayor capacidad de conservar el calor, independientemente del sistema constructivo. Estos valores dependen directamente de la calidad constructiva y los materiales. En otras palabras, la calidad constructiva es la variable que mejores resultados térmicos aporta a la vivienda de estudio, disminuir, lo máximo posible, las infiltraciones de aire producidas por la existencia de espacios entre los elementos que componen el sistema constructivo es clave para alcanzar los índices de confort interior térmico deseados, el sellado de todas y cada una de las juntas constructivas debe hacerse si se busca que la vivienda no demande soluciones activas para controlar la climatización en el interior de la misma.

En segundo lugar, está el sistema constructivo. Los materiales del sistema constructivo LSF influye en la ganancia térmica de la vivienda. En contraparte, el sistema constructivo tradicional de mampostería de ladrillo y estructura de acero posee rendimientos energéticos a la par del sistema LSF. Sin embargo, la calidad constructiva deficiente hace que se pierdan sus bondades. No se aprovecha la inercia térmica de sus muros con la ausencia de aislamiento térmico en la estructura. Adicionalmente, la utilización de carpinterías de doble vidrio con cámara de aire mejora el rendimiento energético de la vivienda. Pero su uso no es determinante ya que debe ser una ventana de alta calidad con sellado hermético y aislamiento en los montantes. Caso contrario la utilización de vidrio doble es inútil.

En tercer lugar, se encuentra la implantación de la vivienda. En la ciudad de Cuenca no existen fluctuaciones importantes del clima durante el año. Además, la radiación solar es ligeramente mejor en la orientación Este – Oeste, los resultados de los análisis por orientación son en promedio 1 °C superiores a la orientación Norte – Sur.

Las viviendas no reciben radiación solar directa en las fachadas durante buena parte del día con la implantación actual debido a la separación mínima, Actualmente 5 metros es insuficiente. Si la separación entre manzanas es mayor la radiación solar directa en fachadas genera calentamiento y las losas radiantes pueden conservar mayor calor. De esta manera la implantación se vuelve un factor más determinante en el confort de las viviendas.

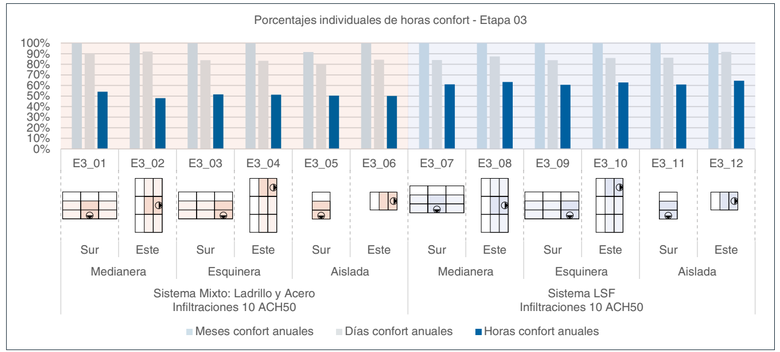


Imagen 58: Porcentajes de horas confort de la Etapa 03 de simulaciones
Fuente: Los Autores

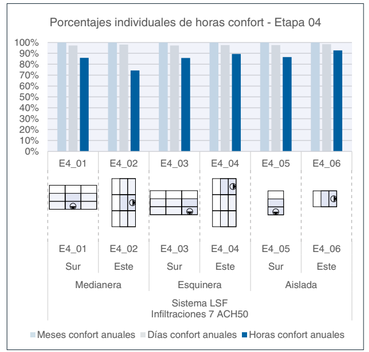


Imagen 59: Porcentajes de horas confort de la Etapa 04 de simulaciones
Fuente: Los Autores

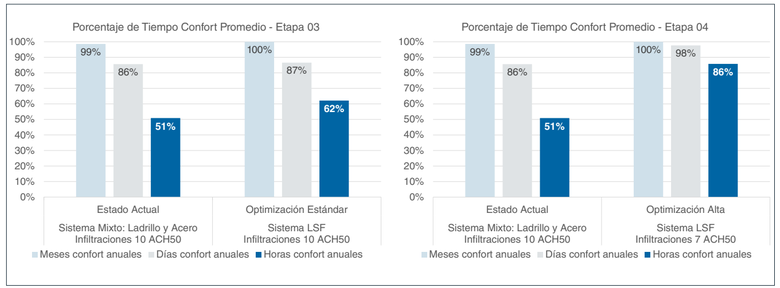


Imagen 60: Resultados promedio diarios de las Etapas 03 y 04 de las simulaciones
Fuente: Los Autores

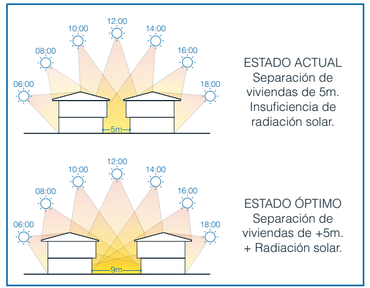


Imagen 61: Esquema de ganancia solar por implantación de viviendas
Fuente: Los Autores

Imagen 62: Imagen representativa de la Vivienda tipo II de la urbanización Los Capulíes con LSF
Fuente: Los Autores

4.4. Propuesta definitiva

4.4.1. Estrategias

La vivienda con el sistema constructivo LSF en las condiciones climáticas de la ciudad de Cuenca es factible con índices altos de confort interior térmico. Las simulaciones demuestran que es posible tener confort interior térmico en un 86% de las horas de un año siempre que se cuiden ciertas estrategias y consideraciones.

Una de las estrategias más importantes para no perder el calor interior es que la losa de cimentación actúe como masa térmica y colocar aislamiento térmico para aislar la losa del suelo. En las simulaciones se utiliza EPS como aislamiento del suelo.

La calidad constructiva de las viviendas es otro factor importante al momento de garantizar hermeticidad en las viviendas. La Zona Climática 3, Continental Lluviosa, donde se realiza el estudio presenta vientos que influyen directamente en la ganancia de calor de las viviendas. Por lo tanto, el sellado de las mismas debe ser lo más hermético posible. Se observó en la Etapa 03 y la Etapa 04 que las infiltraciones de aire afectan al rendimiento energético por encima de la orientación y la tipología de las viviendas. Es decir, el fujo de aire, por mínimo que sea, afecta directamente al confort interior térmico ya que enfría los ambientes.

La implantación de la vivienda debe tomarse como un factor importante al a hora de construir, la correcta orientación de la edificación garantiza una ganancia constante de radiación solar durante todo el año, si bien las simulaciones indican que no es muy elevado el valor de temperatura que se gana debido a esta estrategia. La orientación de los espacios más importantes debe hacerse hacia el Este o sino hacia el Oeste para obtener la máxima ganancia térmica de manera natural.

La elección de materiales de mejor rendimiento térmico contribuye de manera positiva en el rendimiento energético de la vivienda. Si bien, al inicio de la vida útil del inmueble, el costo puede parecer elevado, debe considerarse la inversión a largo plazo. El confort térmico de una vivienda se estudia para que los usuarios tengan confort interior térmico durante toda la vida útil del inmueble.

4.4.2. Alcance de la vivienda con LSF

La propuesta del estudio consta del conjunto de detalles que influyen directamente en la ganancia térmica de la vivienda. A continuación, se presentan las características con las que se hace énfasis para mejorar el rendimiento energético de la vivienda de estudio adaptada al sistema constructivo LSF. Todas las estrategias y consideraciones en el alcance definitivo de la propuesta son fruto de las simulaciones realizadas en cada una de las Etapas. Además, se toma en consideración el alcance científico presentado en el estado de arte.

a. Cimentación: Losa de cimentación de hormigón con aislamiento térmico continuo. Soluciones como el poliestireno expandido (EPS) son ideales.

b. Paredes: Pared de tipología Fría con la capa de aislamiento térmico de mínimo 50mm de espesor de lana de roca o similares hacia el exterior de la sección y una capa de aire hacia el interior. sello de juntas constructivas con siliconas, cintas adhesivas o similares. Utilizar paneles de fibrocemento hacia el exterior y paneles de yeso cartón hacia el interior para las áreas secas y fibrocemento en ambas caras para las áreas húmedas. Procurar que la capa de aislamiento sea continua y en los espacios difíciles utilizar espumas expansivas para llenar las cavidades o vacíos por donde pudiera ingresar aire. Sellar las entradas y salidas de todo tipo de instalaciones.

c. Entrepisos: Utilización de una capa de aislamiento térmico mínimo de mínimo 50mm de espesor como lana de roca o similares en la parte superior por debajo de los paneles de suelo del siguiente nivel. Sellar todas las juntas del cielo raso haciendo que exista una cámara de aire que funcione como aislamiento. Esta consideración aplica en todos los niveles incluido el cielo raso de la cubierta.

d. Cubierta: La cubierta también debe tener aislamiento térmico de mínimo 50mm de espesor como lana de roca o similares debajo de los paneles de OSB. Se sugiere que el aislamiento sea continuo hasta los aleros para evitar espacios donde se pierda el calor. La cubierta debe actuar como un aislante térmico en general.

e. Carpinterías: Todas deben realizarse con perfilería de baja transmitancia térmica. La madera es una opción. Sin embargo, este material es un recurso que debe estudiarse para saber su incidencia en la utilización masiva. Los materiales sintéticos industrializados aparecen como una buena opción en el mercado de la construcción debido a la eficiencia

Imagen 63: Fachadas de la Propuesta de Estudio
Fuente: Los Autores

Imagen 64: Fachadas de la Propuesta de Estudio
Fuente: Los Autores

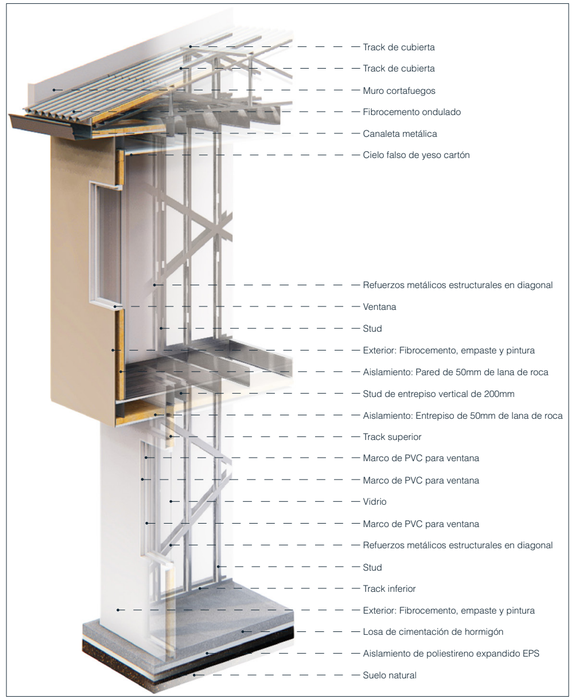


Imagen 66: Esquema constructivo de la propuesta de estudio
Fuente: Los autores

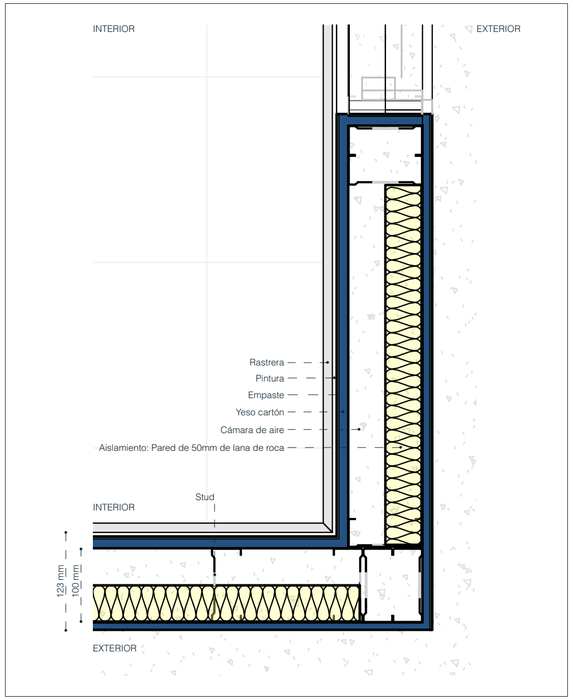


Imagen 65: Esquema constructivo de la propuesta de estudio
Fuente: Los autores

Universidad de Cuenca

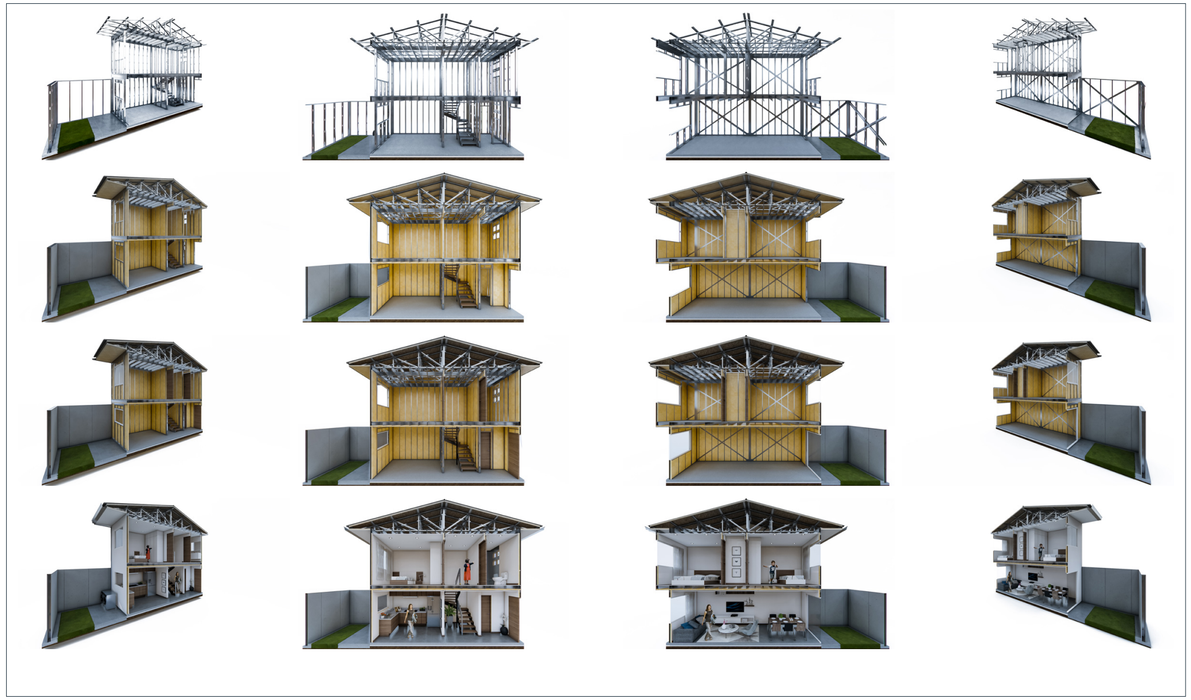


Imagen 67: Diagramas del proceso constructivo de la propuesta de estudio
Fuente: Los autores

CONCLUSIONES

CAPÍTULO
V

Imagen 68: Imagen de la Vivienda Tipo II de la urbanización Los Capulíes con optimización alta del sistema LSF en Desing Builder
Fuente: Los Autores

5.1. Conclusiones

El presente estudio analiza la problemática de la construcción de viviendas unifamiliares de dos plantas edificadas con el sistema constructivo mixto de mampostería de ladrillo y estructura de acero.

Con la hipótesis planteada para esta investigación, donde se menciona que, Utilizando el sistema constructivo Light Steel Framing y acorde a su sección es posible cumplir los estándares de la Norma Ecuatoriana de la Construcción en los parámetros de confort térmico para viviendas unifamiliares de dos plantas en la ciudad de Cuenca, se desarrolla la investigación por etapas para cumplir los diversos objetivos con resultados positivos.

En primera instancia se identifica y determina los parámetros y estrategias de confort interior térmico de acuerdo a los estándares establecidos en la norma ecuatoriana de la construcción para viviendas unifamiliares de dos plantas. Los parámetros se han establecido y determinado de manera categórica para analizar la incidencia en el rendimiento energético de las viviendas. En conclusión, la investigación se desarrolló con los siguientes; Sistema constructivo: Mixto de ladrillo y acero, y LSF. Tipología de vivienda: medianera, esquinera y aislada. Implantación: Estado Actual Este, Estado Actual Oeste, Norte, Sur, Este y Oeste. Clima: Archivo climático de la ciudad de Cuenca para Desing Builder en formato epw. Promedio Anual, Promedio Mensual, Mes más frío, Mes más cálido, Día más frío y Día más cálido. Ganancias internas: 3.7 Usuarios y 13.31 W/m2. Infiltraciones de Aire: 10 ACH para el sistema mixto de ladrillo y acero, y 25, 10 y 7 ACH para el sistema LSF.

En segunda instancia, se aplica el sistema constructivo Light Steel Framing a una tipología de vivienda unifamiliar de dos plantas de la EMUVI-EP para evaluar el comportamiento interior térmico mediante simulación digital. La propuesta de estudio se sustenta estructuralmente con el aval de la empresa privada TUGALT del Grupo Industrial Graiman para garantizar que la propuesta sea factible al momento de construir viable.

Finalmente, se analiza los resultados de la evaluación del comportamiento interior térmico para proponer la sección óptima del sistema constructivo Light Steel Framing en una vivienda unifamiliar de dos plantas para la ciudad de Cuenca. El cómputo general de los resultados de los valores obtenidos se realiza por; año, meses, días y horas.

En conclusión, la utilización del sistema constructivo LSF en viviendas unifamiliares de dos plantas para la ciudad de Cuenca es factible. La sección estructural no es muy grande y se puede construir con materiales que se encuentran en el mercado local.

El rendimiento energético de las viviendas adaptadas al LSF es igual y superior a la vivienda de referencia con el sistema constructivo misto de mampostería de ladrillo y estructura de acero. Una vivienda edificada con LSF en la cual no se cambian las carpinterías y se utilizan las mismas de las de la vivienda de referencia, los aislamientos solo en paredes y losa sin aislamiento, con un valor de 25 ACH50 se alcanza un 51% de horas confort. Sin embargo, si se utilizan los aislamientos en la losa de cimentación y la cubierta y se cambian los materiales metálicos de carpinterías y acabados por materiales como la madera y PVC y la calidad constructiva establecida con un rango de infiltraciones de 10 ACH50, es decir una vivienda con el sistema constructivo LSF correctamente aplicado al alcance del mercado nacional el tiempo confort sube hasta un 62%. Por contraparte, cuando la calidad constructiva es cuidada hasta el detalle con la disminución del rango de infiltraciones hasta un valor de 7 ACH50, PVC como material de carpinterías y vidrio doble con cámara de aire el rango de tiempo confort sube hasta un 86%.

En síntesis, el mejor rendimiento energético de la vivienda se da principalmente con la reducción de las infiltraciones de aire. Este indicador es clave para mejorar el confort interior térmico. En otras palabras, cada rendija y grieta que se presenta en la vivienda debe ser sellada con materiales acorde a la parte de la edificación donde se encuentre. Es importante mencionar que las ventanas con vidrio doble no mejoran el rendimiento energético si el sellado de la cámara de aire o gas no es hermético al 100%. El valor de 7 ACH50 es la variable de mayor influencia en el rendimiento energético de las viviendas en este estudio.

Si bien, el ladrillo, material del que se compone la vivienda de estudio en su estado actual, tiene mejor inercia térmica, los materiales sintéticos en conjunto bien utilizados igualan y en algunos casos como en las paredes continuas mejoran el rendimiento energético de la envolvente. Sumado a las ventajas del sistema industrializado que ya se estudiaron en el estado de arte entre las cuáles se destacan; la eficiencia de la construcción por los tiempos de ejecución, ahorro en cimentaciones y excavaciones debido al peso propio de la estructura ya que la edificación solicita simplemente una Losa de hormigón, en materia sísmica el LSF es claramente superior a los sistemas de mampostería ya que su configuración de paneles responde de mejor manera las cargas sísmicas o laterales, el ahorro en mano de obra y desperdicios hace que el consumidor pueda pensar en invertir en materiales de mejor calidad o complementos que hagan a la vivienda más hermética.

La vivienda con el sistema LSF, analizada en la Etapa 04, virtualmente está dentro del rango de confort interior térmico sin la necesidad de utilizar medios activos para calefacción o refrigeración. En el caso de los días más fríos basta con mantener cerradas todas las ventanas y puertas, en especial la que da hacia el jardín posterior en planta baja. Por el contrario, para los días cálidos con abrir las ventanas se da la ventilación suficiente para mantener las viviendas cómodas.

Otra observación importante es que las viviendas no se alejan en extremo del rango de confort NEC comprendido entre 18 °C y 26 °C. La vivienda de referencia base, es la que más fluctuaciones de temperatura posee debido a la configuración de su sistema constructivo haciendo que muchas horas estén muy frías y otras con sobrecalentamiento. Sin embargo, las viviendas con LSF presentan curvas de temperatura horarias que tienen en mayor medida a ser homogéneas, por tal razón, la distancia del promedio fuera del rango de confort NEC es mínimo.

En segundo orden de influencia en la ganancia térmica después de las Infiltraciones de aire están las tipologías de las viviendas, medianera, esquinera y aislada. Cada ubicación de la vivienda dentro de la manzana condiciona los efectos climáticos que reciben las edificaciones.

Finalmente, la Implantación es el parámetro que menos influye en el rendimiento energético de las viviendas. Cada orientación ofrece resultados similares en las simulaciones. Es decir que, debido a la morfología de la vivienda de estudio que, al ser compacta esta consideración tiene menor influencia térmica por lo que una vivienda orientada Este – Oeste no es muy superior a la orientación Norte – Sur.

Los valores de las horas confort han sido contabilizados de tal manera que se sumen únicamente cantidades absolutas comprendidas entre los 18 °C y 26 °C. Es decir que, para la cuantificación, los valores muy aproximados no se toman en cuenta para el cómputo general. De tal manera,

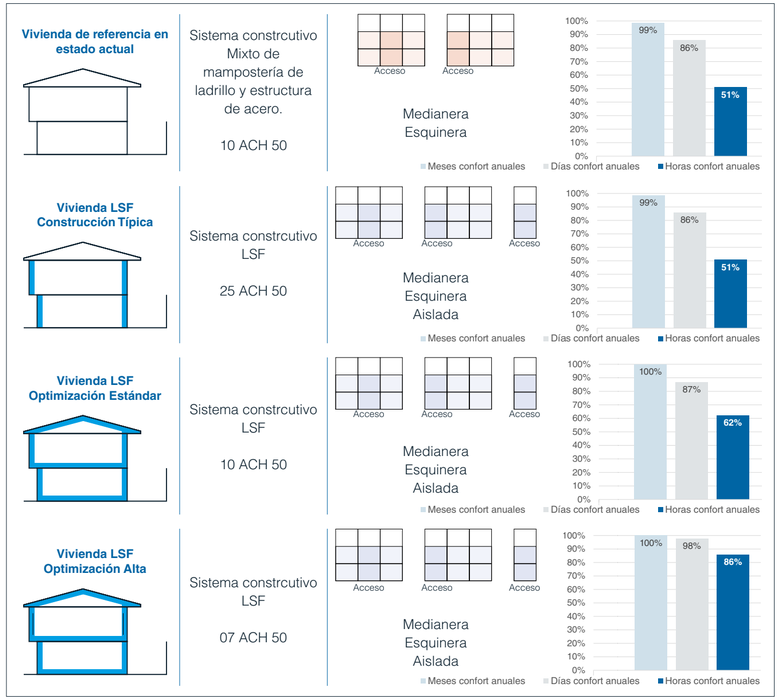


Imagen 69: Esquema comparativo de las Horas Confort de la vivienda en estado actual y la propuesta de estudio
Fuente: Los autores

los resultados que se presentan en las comparativas son muy rigurosos en todo el proceso. Estos valores se pueden observar en todos los anexos que se muestran al final de las simulaciones. Además, las simulaciones en cada una de las Etapas se realizan diferenciando por niveles de la vivienda; Planta baja (área social y de servicio), Planta alta (área de descanso) y Vivienda completa (ambas plantas en conjunto) con el objetivo de conocer las variaciones de temperatura que existen cuando se analizan los espacios separados por niveles ya que la distribución arquitectónica es diferente.

Además, se ha proyectado la utilización de la vivienda por 3.7 usuarios en promedio y teniendo en cuenta las ganancias internas por aparatos eléctricos y usuarios. Durante estas soluciones son aplicables para los tres métodos de construcción con el sistema LSF; método de construcción de una vivienda in situ, construcción por paneles o paredes prefabricados y el método de construcción completamente prefabricado de módulos habitacionales. En definitiva, la Vivienda Tipo II de la urbanización Los Capulíes puede ser construida al 100% con el sistema constructivo Light Steel Framing. La misma es adaptable a los distintos métodos constructivos con este sistema.

El objetivo general de la investigación de Evaluar el confort interior térmico de una tipología de vivienda unifamiliar de dos plantas de la EMUVI-EP proyectada con el sistema constructivo Light Steel Framing para proponer la sección constructiva óptima del panel prefabricado aplicado a la ciudad de Cuenca y cumplir los estándares de confort térmico establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, luego de los resultados obtenidos se concluye que es factible.

La sección óptima se denomina Pared Fría, Imagen 70, la cual se conforma de la siguiente manera; Estructura

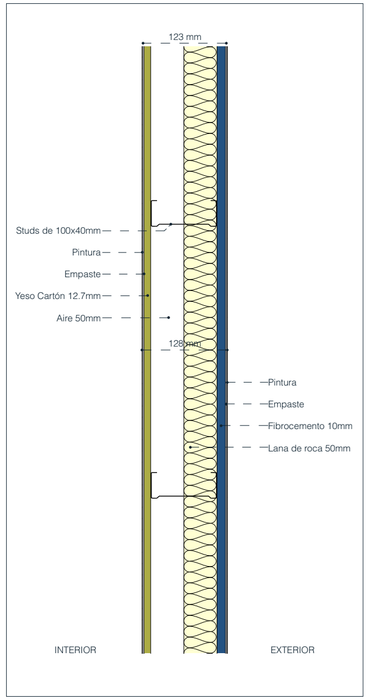


Imagen 70: Sección Estructural Tipo de la propuesta de estudio
Fuente: Los autores

de LSF con Tracks de 102x35mm y Studs de 100x40mm. Panel de fibrocemento de 10mm para el lado exterior con acabado de empaste y pintura. Panel de Yeso Cartón de 12.7mm con acabado de empaste y pintura para el lado interior. Aislamiento térmico de lana de roca de 50mm de espesor ubicado entre los Studs apegado hacia el lado exterior. Cámara de 50mm entre los Studs. La sección tipo es de 130mm de espesor. Esta tipología de pared puede ser aplicada a los tres métodos constructivos con LSF; in situ, paneles prefabricados y módulos. Por lo tanto, una vivienda en la ciudad de Cuenca con garantías de habitabilidad dentro del rango de confort térmico es factible con materiales que se encuentran en el mercado nacional.

En referencia al material de aislamiento, la conclusión es que con 50mm es suficiente con la solución A03. La sección estructural depende del ancho de los perfiles Tracks y Studs de acuerdo a los criterios estructurales por parte de Tugalt. Para alcanzar niveles por encima del 50% de confort se ha buscado una configuración de aislamientos en la vivienda de manera integral, por lo que, con una capa única de 50mm de lana de Roca es suficiente si se respeta la calidad constructiva para las condiciones climáticas de la ciudad. De esta manera el aislamiento no genera un costo elevado o prohibitivo para los usuarios finales de esta tipología de vivienda. En esta investigación el objetivo es ofrecer las características mínimas para alcanzar un confort interior térmico que supere el 50% de horas confort anuales.

El sistema constructivo tradicional de mampostería de ladrillo y estructura de hormigón o acero es deficiente cuando no se tiene mano de obra profesional y especializada. Las desatenciones a la calidad constructiva y el producto final inciden negativamente en el rendimiento energético de este sistema constructivo. Si se optimiza el sistema con las mismas consideraciones del sistema LSF estudiado en esta investigación, seguramente los niveles de confort interior térmico sean mayores. Sin embargo, las deficiencias en los otros aspectos que rodean a la construcción colocan al sistema en desventaja frente a las soluciones con nuevas tecnologías.

El sistema constructivo LSF no es perfecto, posee debilidades, tales como puentes térmicos producidos por la gran cantidad de perfiles que conforman el esqueleto de la vivienda, bajos índices de inercia térmica. Sin embargo, para viviendas unifamiliares es una opción más que recomendable por las ventajas que ofrece. Si las viviendas se edifican con aislamientos térmicos únicamente en las paredes y se permiten infiltraciones de aire elevadas tales como 25 ACH50, el sistema no mejora el rendimiento de las viviendas con ladrillo y acero. Por lo que, es necesario que se utilicen estrategias constructivas para aislar, en medida de lo posible, la vivienda de manera integral en todas sus superficies para lograr un rendimiento energético óptimo.

La población de la ciudad de Cuenca puede tener acceso a vivienda confortable en materia de confort interior térmico. Los profesionales de la construcción deben insistir en la utilización de nuevas tecnologías que son superiores a las técnicas y materiales tradicionales. En esta investigación se observa que una tipología de vivienda unifamiliar, la de mayor demanda a nivel nacional, cumple por encima de 50% el tiempo confort. Las Horas en inconfort son las denominadas horas de descanso y sueño de los usuarios por lo que la sensación térmica del rango que no está dentro del confort interior térmico es mínima.

La construcción tradicional deficiente compromete la calidad de vida de los usuarios por lo que es importante la introducción de nuevas tecnologías con estudios que avalan su factibilidad.

Imagen 71: Imagen representativa de la Vivienda tipo II de la urbanización Los Capulíes con LSF
Fuente: Los Autores

5.2. Recomendaciones

En Cuenca construir con LSF es perfectamente viable manteniendo los estándares de confort interior térmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. La Etapa final de las simulaciones ofrece resultados sólidos que defienden la hipótesis planteada en esta investigación.

Las recomendaciones y consideraciones al momento de construir serán las de buscar una construcción hermética de alta calidad con bajos niveles de infiltraciones, aprovechar la climatización pasiva de la vivienda. A continuación, se describen recomendaciones específicas para cada condición que influye directamente en las ganancia o pérdida de calor en la vivienda de estudio.

5.2.1. Sistema constructivo

En el perímetro exterior de las fachadas se recomienda el uso de placas de fibrocemento para confinar adecuadamente la estructura y en áreas interiores utilizar paneles de yeso cartón. En las áreas húmedas como baños y lavandería de ser el caso se podría incorporar fibrocemento o yeso cartón especial para condiciones de humedad o contacto con agua.

La estructura deberá incorporar arriostramiento, de preferencia inclinado en forma de cruz en todas las paredes que no tengan aberturas y las que tengan puertas o ventanas el refuerzo puede ser horizontal.

En los vanos de puertas y ventanas es recomendable que la estructura no tenga contacto directo con las carpinterías por lo que se deberá colocar paneles ya sea de yeso cartón o fibrocemento que cubran la estructura adecuadamente y evitar puentes térmicos directos.

Sellar con siliconas o similares todas las juntas constructivas que se presenten, por carpinterías o instalaciones.

5.2.2. Tipología de vivienda

En viviendas esquineras y medianeras se recomienda la incorporación de muros cortafuegos que se extiendan por encima de la cubierta con un mínimo de 45 cm para evitar el paso del fuego de una vivienda hacia la adyacente. Un muro cortafuego no podrá ser compartido entre una vivienda y otra. Es decir, cada vivienda deberá tener uno independientemente. Para mayor de talle de muros cortafuegos consultar a (McGrew y Woodcock, 2018).

Cada edificación debe ser independiente de la otra en todos los aspectos constructivos desde los estructurales, paneles de cerramientos, capas de aislamientos, instalaciones, entre otros. Las viviendas del tipo aisladas pueden prescindir de esta solución. Todas las viviendas deben ser ancladas a sus respectivas losas de cimentación.

La vivienda aislada es la mejor solución ya que recibe radiación solar durante todo el día. El calor ingresa a la vivienda a todas horas. Por lo tanto, si es posible, debe contemplarse retiros para aprovechar las ventajas de la radiación.

5.2.3. Implantación

En medida de lo posible orientar la vivienda en la cual sus fachadas que tengan mayor incidencia directa al sol hacia el Este o el Oeste para obtener la mejor ganancia térmica por radicación solar. En el caso que no sea posible orientar la vivienda hacia estos puntos, generar aberturas translucidas en la cubierta para ingresar radiación, aisladas adecuadamente. Procurar dar espacio para la captación de radiación, una implantación compactada de manera excesiva puede repercutir en la calidad de la ganancia solar, iluminación natural y ventilación.

5.2.4. Infiltraciones de aire

El valor nominal de las simulaciones está en los 10 intercambios de aire a una presión de 50 Pa (ACH50). Sin embargo, el Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones menciona que alcanzar valores menores es perfectamente posible.

El control debe hacerse en las puertas, ventanas e instalaciones. Se debe aplicar el sellado por espuma de poliuretano en todos los contornos de las instalaciones hidrosanitarias. Aplicación del sello de silicona neutra en los contornos de las carpinterías. Instalación de topes estancos de goma en todas las ventanas, etc.

Las infiltraciones de aire en ventanas dependen de tres factores; calidad, forma y apertura. Las ventanas del tipo corrediza es la que mayor rango de infiltraciones posee. Por lo tanto, la utilización de ventanas proyectantes, oscilantes o abatibles son la mejor opción.

5.2.5. Aislamientos

Es recomendable el uso de lana de roca por sus propiedades termo acústicas sin embargo el uso de fibra de vidrio o poliestireno expandido térmicamente funcionan muy bien.

La vivienda debe tener aislamiento continuo en todo el perímetro de la sección constructiva. Todas las áreas de la vivienda como paredes, losa planta baja, entrepiso, cubierta y aleros deben estar correctamente aisladas, y el aislamiento debe tener proximidad hacia las áreas frías es decir dentro de la sección hacia los paneles exteriores. estas recomendaciones son de uso obligatorio para evitar las pérdidas de calor.

5.2.6. Materiales de acabados

Utilizar materiales con alta resistencia térmica. Principalmente en aquellos que no se pueden aislar con materiales termoacústicos.

En ventanas es óptimo la utilización de perfiles de PVC o madera. el Utilizar vidrio doble ayuda significativamente si se incorpora la perfilería y aislación adecuada, ya que se comprobó que el uso de vidrio doble con un material con alta conductividad térmica como el metal o aluminio aporta a las pérdidas de calor.

En puertas es óptimo el uso de materiales con baja transmitancia térmica como la madera, No constituir con capas metálicas que vayan a estar expuestas directamente al exterior, en el caso de la puerta principal el metal puede ser utilizado para crear un enrejado de protección y no como panel de la hoja.

Al momento de emplazar o diseñar conjuntos de viviendas es importante evitar viviendas compactas procurando siempre las ganancias de radiación solares con una óptima implantación y de ser posible implementar masa térmica para aprovechar al máximo las soluciones bioclimáticas pasivas.

Universidad de Cuenca

5.3. Bibliografía

Andrade, J. B., Bragança, L., y Camões, A. (2016). Steel sustainability assessment - Do BSA tools really assess steel properties? Journal of Constructional Steel Research, 120, 106–116. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.01.011

Atsonios, I. A., Mandilaras, I. D., Kontogeorgos, D. A., y Founti, M. A. (2018). Two new methods for the in-situ measurement of the overall thermal transmittance of cold frame lightweight steel-framed walls. Energy and Buildings, 170, 183–194. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.069

Balali, V., Zahraie, B., y Roozbahani, A. (2014). A Comparison of AHP and PROMETHEE Family Decision Making Methods for Selection of Building Structural System. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 2(5), 149–159. https://doi.org/10.12691/ajcea-2-5-1

Baquero, M., y Quesada, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. Maskana, 7(2), 147–165. https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.11

Bolina, F., Christ, R., Metzler, A., Quinino, U., y Tutikian, B. (2017). Comparison of the Fire Resistance of two Structural Wall Systems in Light Steel Framing. Dyna, 84(201), 123. https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.57487

BORAL. (2013). Firewall: Area separation walls for industrial buildings.

Cáceres Gaibor, C. A. (2018). Análisis comparativo Técnico-Económico de un sistema tradicional aporticado y un sistema estructural liviano para la construcción de viviendas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Calzada, J. R., Antonio, R., Paredes, V., y Matías, L. (2014). Uso Eficiente De Programas Informáticos En Arquitectura : Designbuilder Y Dialux, 117–125.

Carpio Toral, M. P. (2014). Diseño estructural de una vivienda aplicado el sistema constructivo STEEL FRAMING. Universidad de Azuay.

Castañeda Nolasco, G., Ruiz Torres, P., y Jiménez Albores, J. L. (2013). Comportamiento y confort térmico de vivienda en la ciudad rural sustentable Nuevo Juan del Grijalva, Chiapas, México. Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo, 2(2), 89–103. https://doi.org/10.31644/imasd.2.2013.a07

Cetin, K. S., Fathollahzadeh, M. H., Kunwar, N., Do, H., y Tabares-Velasco, P. C. (2019). Development and validation of an HVAC on/off controller in EnergyPlus for energy simulation of residential and small commercial buildings. Energy and Buildings, 183, 467–483. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.005

CITEC UBB. (2013). Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones. Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53).

Cuchí, A., Wadel, G., López, F., y Sagrera, A. (2007). Guía de la eficiencia energética para Administradores de Fincas. (Fundación Gas Natural, Ed.), Fundacion Gas Natural (Primera). Barcelona. Recuperado de www.societatorganica.com

De Angelis, E., y Serra, E. (2014). Light steel-frame walls: Thermal insulation performances and thermal bridges. Energy Procedia, 45, 362–371. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.039

Don Allen, P. E. (2006). History of Cold Formed Steel. STRUCTURE magazine, (November), 28–32. Recuperado de www.STRUCTUREmag.org

Dubina, D. (2008). Behavior and performance of cold-formed steel-framed houses under seismic action. Journal of Constructional Steel Research, 64(7–8), 896–913. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.01.029

Espinosa Cancino, C. F., y Cortés Fuentes, A. (2015). Confort higro-térmico en vivienda social y la percepción del habitante. Revista INVI, 30(85), 227–242. https://doi.org/10.4067/S0718-83582015000300008

Freitas, A. M. S., y Moraes de Castro, R. C. (2007). Steel Framing: Arquitectura/Arlene Maria Sarmanho Freitas, Renata Cristina Moraes de Crasto. (ILAFA, Ed.), ALACERO. Santiago. Recuperado de http://www.construccionenacero.com/Articulos y Publicaciones/Libros/Steel Framing Arquitectura.pdf

Gad, E. F., Duffield, C. F., Hutchinson, G. L., Mansell, D. S., y Stark, G. (1999). Lateral performance of cold-formed steel-framed domestic structures. Engineering Structures, 21(1), 83–95. https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)90129-2

García Alvarado, R., y Gonzalez, A. (2014). Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro-sur de Chile. Revista INVI, 29(80), 111–141. https://doi.org/10.4067/S0718-83582014000100005

García Alvarado, R., González, A., Bustamante, W., Bobadilla, A., y Muñoz, C. (2014). Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares (Vol. 66).

Harman, L. (2010). Confort Térmico en Viviendas Altoandinas un enfoque integral. (Balcari Editores SAC, Ed.), CARE Perú (Primera). Lima.

INEC. (2018). Encuesta de Edificaciones 2017 (Permisos de Construcción). Quito. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2017/2017_EDIFICACIONES_PRESENTACION.pdf

La Roche, P. (2010). Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero en edificios: Análisis del funcionamiento de varias herramientas en diferentes climas. Informes de la Construccion, 62(517), 61–80. https://doi.org/10.3989/ic.09.026

Lamus Rodríguez, J. L. (2015). Análisis de viabilidad Económica: Sistema constructivo Light Steel Framing en Colombia. Universidad de los Andes. Recuperado de http://biblioteca.uniandes.edu.co/acepto201699.php?id=9003.pdf

Landolfo, R. (2018). Lightweight steel constructions for seismic areas. Key Engineering Materials, 763(February), 32–49. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.763.32

Lupan, L. M., Manea, D. L., y Moga, L. M. (2016). Improving Thermal Performance of the Wall Panels Using Slotted Steel Stud Framing. Procedia Technology, 22, 351–357. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.108

Macari Urra, B. X. (2013). Análisis y medición del nivel de infiltración de aire y puentes térmicos en espacios de oficina.

Madrid, H., Opazo, F., y Parada, O. (2012, mayo). Impacto de las infiltraciones de aire en el desempeño energético y térmico de las viviendas. EMB Construcción. Recuperado de http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=63&srch=madrid&act=4&tip=4&xit=

Manzan, M., Zandegiacomo De Zorzi, E., y Lorenzi, W. (2018). Numerical simulation and sensitivity analysis of a steel framed internal insulation system. Energy and Buildings, 158, 1703–1710. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.069

McGrew, K. S., y Woodcock, R. W. (2018). Technical Manual Installation: Fire Tested FRL Systems. Fire Crunch: Australian Certified Building Solutions.

MIDUVI. (2011a). Eficiencia energética en la construcción en Ecuador, 51. Recuperado de https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-13-eficiencia-energc3a9tica-en-la-construccic3b3n-en-ecuador-021412.pdf

MIDUVI. (2011b). Vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 4.0m.

MIDUVI. (2018). Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales NEC-HS-EE, 40. Recuperado de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf

MIDUVI. (2019). Acuerdo Ministerial: Reglamento para validacion de tipologias y planes masa para proyectos de vivienda de interes social.

Ordoñez García, A. (2014). Manual de ayuda DesignBuilder en español Introducción, 417.

Paul, S., Radavelli, G. F., y da Silva, A. R. (2015). Experimental evaluation of sound insulation of light steel frame façades that use horizontal inter-stud stiffeners and different lining materials. Building and Environment, 94, 829–839. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.010

Pérez Toribio, Y. M. (2013). Aplicabilidad del sistema steel-frame en viviendas económicas de República Dominicana. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de http://upcommons.upc.edu//handle/2099.1/19687

Quezada Vanegas, K. C. (2019). Evaluación térmica de cerramiento vertical para mejorar el

confort de una vivienda de interés social en clima de alta montaña – caso de estudio Cajas. Universidad de Cuenca.

Reichmana, R., Shirazia, E., Colliverb, D. G., y Pennell, K. G. (2017). US Residential Building Air Exchange Rates: New Perspectives to Improve Decision Making at Vapor Intrusion Sites. Physiology & behavior, 176(1), 139–148. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.03.040

Rodrigues, E., Soares, N., Fernandes, M. S., Gaspar, A. R., Gomes, Á., y Costa, J. J. (2018). An integrated energy performance-driven generative design methodology to foster modular lightweight steel framed dwellings in hot climates. Energy for Sustainable Development, 44, 21–36. https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.02.006

Roque, E., y Santos, P. (2017). The effectiveness of thermal insulation in lightweight steel-framedwalls with respect to its position. Buildings, 7(1). https://doi.org/10.3390/buildings7010013

Santos, P. (2017). Energy Efficiency of Lightweight Steel-Framed Buildings. Energy Efficient Buildings. https://doi.org/10.5772/66136

Schafer, B. W., Ayhan, D., Leng, J., Liu, P., Padilla-Llano, D., Peterman, K. D., … Yu, C. (2016). Seismic Response and Engineering of Cold-formed Steel Framed Buildings. Structures, 8, 197–212. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2016.05.009

Souza, H. A. de, Amparo, L. R., y Gomes, A. P. (2011). Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. Ambiente Construído, 11(4), 113–128. https://doi.org/10.1590/s1678-86212011000400009

Tafsirojjaman, T., Fawzia, S., Thambiratnam, D., y Zhao, X. L. (2019). Seismic strengthening of rigid steel frame with CFRP. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 19(2), 334–347. https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.08.007

The U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research. (2002). Steel vs. Wood. Cost Comparison. Beaufort Demonstration Homes. Washington, DC. Recuperado de www.huduser.org

Valero, L. del V. R. (2013). Optimización y propuesta de sistema opaco de cerramiento multicapa ligero con estructura de light steel frame como alternativa competitiva a los sistemas de cerramientos tradicionales.

Velepucha, D. (2014). Propuesta Sustentable, Aplicada a Una Vivienda Saludable. Universidad de Cuenca.

Veljkovic, M., y Johansson, B. (2007). Light steel framing for residential buildings. Thin-Walled Structures, 44(12), 1272–1279. https://doi.org/10.1016/j.tws.2007.01.006

Venegas Tomalá, A. O. (2018). Evaluación de la energía contenida, emisiones de co2 y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en Cuenca, a través del análisis de ciclo de vida (ACV). Universidad de Cuenca.

Villacís, B., y Carrillo, D. (2011). Estadística Demográfica en el Ecuador: Diagnóstico y Propuestas. Inec, 86. https://doi.org/10.1038/ismej.2010.8

Yandzio, E., Lawson, R. M., y Way, A. G. J. (2015). Light steel framing in residential construction. SCI (The Steel Construction Institute).

Yu, C. (2016). Recent trends in cold-formed steel construction. (Elsevier Science Technology, Ed.). Cambridge: Matthew Deans.

Universidad de Cuenca

Listado de Imágenes

Universidad de Cuenca

Listado de Tablas

Universidad de Cuenca

Listado de Anexos

Anexo 01: Propiedades Térmicas de los Materiales para la Simulación de las Viviendas

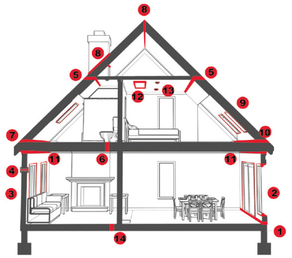
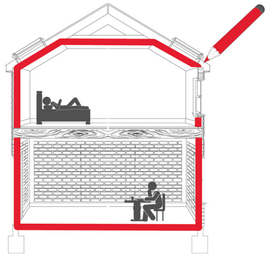
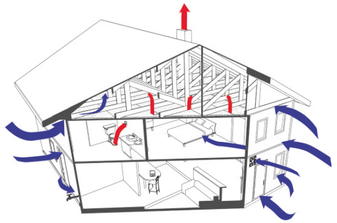
No.	Categoría	Tipo de material	Material	Propiedades Térmicas						Fuente
				Espesor	Conductividad Térmica	Calor Específico	Densidad	Resistencia térmica	Transmitancia Térmica	
				e [m]	K = λ [W/mK]	Cp [J/KgK]	d [Kg/m3]	R [m2K/W]	U=1/R [W/m2K]	
1	Piso	Asbestos, hormigón, etc.	LOSA DE HORMIGÓN_100mm	0,100	1,630	1050,000	2400,000	0,0613	16,3000	NEC-HS-EE
2		Asbestos, hormigón, etc.	MORTERO BONDEX_10mm	0,010	0,720	1000,000	1760,000	0,0139	72,0000	NEC-HS-EE
3		Céramicos, porcelanatos	PORCELANATO_8mm	0,080	1,300	840,000	2300,000	0,0615	16,2500	Defecto DB Cp
4		Suelos	SUELO COMPACTADO_150mm	0,150	1,100	-	1885,000	0,1364	7,3333	NEC-HS-EE
5	Entrepiso	Asbestos, hormigón, etc.	FIBROCEMENTO_17mm	0,017	0,930	1250,000	2000,000	0,0183	54,7059	NEC-HS-EE
6		Madera	PISO FLOTANTE_12mm	0,012	0,080	1700,000	650,000	0,1500	6,6667	NEC-HS-EE
7	Pared	Asbestos, hormigón, etc.	FIBROCEMENTO_10mm	0,010	0,930	1250,000	2000,000	0,0108	93,0000	NEC-HS-EE
8		Yesos	EMPASTE DE YESO_2mm	0,002	0,760	837,000	1000,000	0,0026	380,0000	NEC-HS-EE
9		Yesos	GYPSUM_12,7mm	0,013	0,250	1000,000	900,000	0,0508	19,6850	NEC-HS-EE
10		Asbestos, hormigón, etc.	ENLUCIDO DE CEMENTO_10mm	0,010	0,720	840,000	1760,000	0,0139	72,0000	Defecto DB Cp
11		Mamposterías	LADRILLO TOCHANO_130mm	0,130	0,490	840,000	1200,000	0,2653	3,7692	Defecto DB Cp
12	Techo	Asbestos, hormigón, etc.	FIBROCEMENTO_5mm	0,005	0,930	1250,000	2000,000	0,0054	186,0000	NEC-HS-EE
13		Madera	OSB_18mm	0,018	0,130	1700,000	650,000	0,1385	7,2222	NEC-HS-EE
14	Carpinterías	Metal	PUERTA METÁLICA_40mm	0,002	50,000	450,000	7800,000	0,0000	25000,0000	NEC-HS-EE
15		Vidrio	VIDRIO SIMPLE_6mm	0,006	0,900	-	-	0,0067	5,7800	NEC-HS-EE
16		Metal	Aluminio	0,002	209,300	-	-	0,0000	104650,0000	NEC-HS-EE
17		Metal	Metálico RPT (4mm < d < 12mm)					0,2500	4,0000	UNE-EN ISO 100077-2
18		Metal	Metálico RPT > 12mm					0,3125	3,2000	UNE-EN ISO 100077-3
19		Madera	Madera de Pino	0,075	0,160	1298,000	650,000	0,4688	2,1333	NEC-HS-EE
20		Madera	Madera común	0,075	0,130	1381,000	840,000	0,5769	1,7333	NEC-HS-EE
21		Madera	Madera Dura	0,060			700,000	0,4545	2,2000	UNE-EN ISO 100077-4
22		Madera	Madera Blanda	0,060			500,000	0,5000	2,0000	UNE-EN ISO 100077-5
23		PVC	Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)		0,160			0,4545	2,2000	UNE-EN ISO 100077-6
24		PVC	Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)		0,160			0,5556	1,8000	UNE-EN ISO 100077-7
25		PVC	PVC	0,005	0,170	900,000	1390,000	0,0294	34,0000	UNE-EN ISO 100077-7

Anexo 02: Propiedades Térmicas de los Materiales para la Simulación de las Viviendas

No.	Categoría	Tipo de material	Material	Propiedades Térmicas						Fuente
				Espesor	Conductividad Térmica	Calor Específico	Densidad	Resistencia térmica	Transmitancia Térmica	
				e [m]	K = λ [W/mK]	Cp [J/KgK]	d [Kg/m3]	R [m2K/W]	U=1/R [W/m2K]	
26	Aislamiento térmico	Aislantes	LANA DE ROCA_50mm	0,050	0,036	800,000	32,000	1,3889	0,7200	NEC-HS-EE
27		Aislantes	AIRE_50mm	0,050	-	-	-	0,1500	6,6667	NEC-HS-EE
28		Aislantes	AIRE_50mm	0,050	-	-	-	0,1500	6,6667	NEC-HS-EE
29		Aislantes	LANA DE ROCA_50mm	0,050	0,036	800,000	32,000	1,3889	0,7200	NEC-HS-EE
30		Aislantes	CELULOSA EN SPARY_100mm	0,050	0,040		42,000	1,2500	0,8000	NEC-HS-EE
31		Aislantes	PANEL FIBRA DE VIDRIO_50mm	0,050	0,048	800,000	8,200	1,0417	0,9600	NEC-HS-EE
32		Aislantes	POLIESTIRENO EXPANDIDO EPS_50mm	0,050	0,040	1450,000	15,000	1,2500	0,8000	NEC-HS-EE
33		Aislantes	POLIESTIRENO EXTRUIDO XEPS_50mm	0,050	0,035	1400,000	40,000	1,4286	0,7000	NEC-HS-EE
34		Aislantes	ESPUMA DE POLIURETANO_50mm	0,050	0,025	1450,000	30,000	2,0000	0,5000	NEC-HS-EE
35		Aislantes	LANA MINERAL PANEL_50mm	0,050	0,042	1030,000	12,000	1,1905	0,8400	NEC-HS-EE

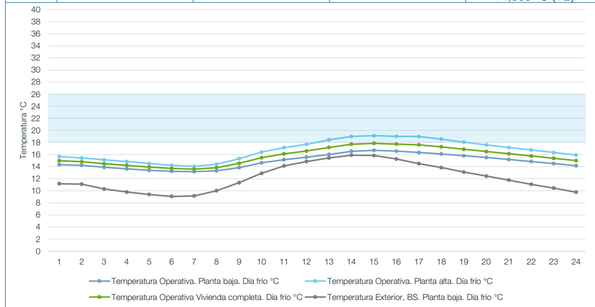
Anexo 03: Principales puntos de fuga de aire según los sistemas constructivos

Principales puntos de fuga de aire identificables en una edificación (CITEC UBB, 2013).

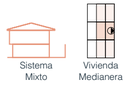
Sistema pesado	Sistema mixto	Sistema liviano
		1. Intersección losa inferior / muro exterior vertical.
2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.	2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.	2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.
	3. Muros livianos.	3. Muros livianos.
4. Perforaciones a muros exteriores verticales.	4. Perforaciones a muros exteriores verticales	4. Perforaciones a muros exteriores verticales.
	5. Intersección techumbre inclinada / estructura de cielo.	5. Intersección techumbre inclinada / estructura de cielo.
6. Perforaciónes a losa para paso de instalaciones.	6. Perforaciónes a losa para paso de instalaciones.	6. Perforaciónes a losa para paso de instalaciones.
	7. Intersección techumbre inclinada / muro exterior vertical.	7. Intersección techumbre inclinada / muro exterior vertical.
8. Perforaciones a techumbre inclinada.	8. Perforaciones a techumbre inclinada.	8. Perforaciones a techumbre inclinada.
9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.	9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.	9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.
		10 Intersección entrepiso / muro exterior vertical.
11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.	11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.	11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.
12. Cámara inspección cielo falso o muros.	12. Cámara inspección cielo falso o muros.	12. Cámara inspección cielo falso o muros.
13. Instalaciones eléctricas.	13. Instalaciones eléctricas.	13. Instalaciones eléctricas.
14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.
		
Principales puntos de fuga de aire identificables en una edificación	Discontinuidad de la hermeticidad de una edificación por cambio de material	Puntos singulares de infiltración típicos de una construcción.

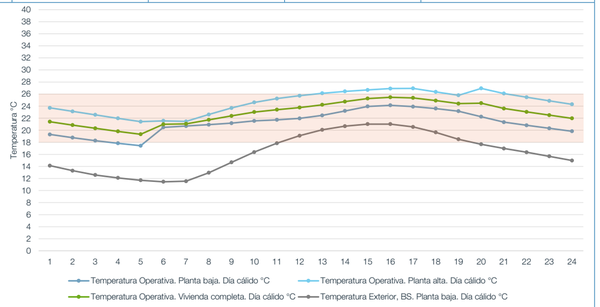
Anexo 04: Simulación E1_01: Vivienda Tradicional Medianera. Orientación actual 4,31 grados respecto al Este. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación actual	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_01	Medianera	4,31 grados respecto al Este	"19,948 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,240 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido octubre 20,361 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"17, septiembre 16,035 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 22,331 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

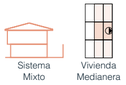


Horas Confort del día más frío





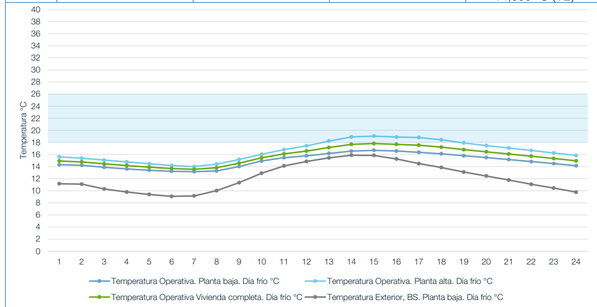
Horas Confort del día más cálido



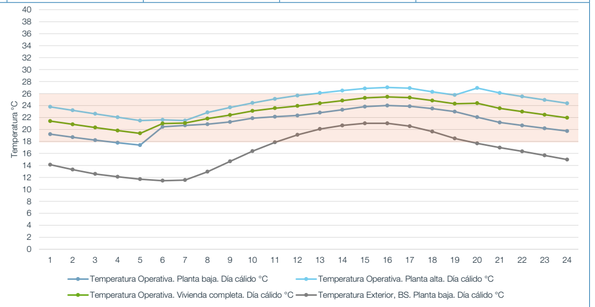
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 05: Simulación E1_02: Vivienda Tradicional Medianera. Orientación actual 4,31 grados respecto al Oeste. 10 ACH50

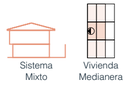
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación actual	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_02	Medianera	4,31 grados respecto al Oeste	"19,945 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,231 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido octubre 20,365 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"17, septiembre 16,029 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 22,341 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

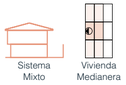


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



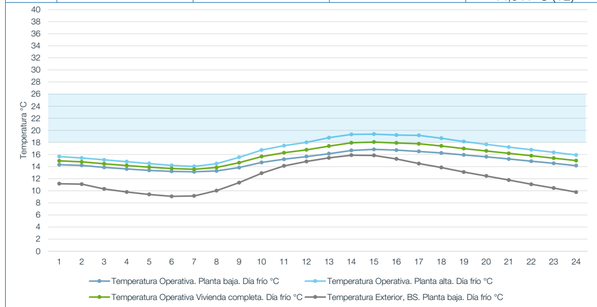


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:24

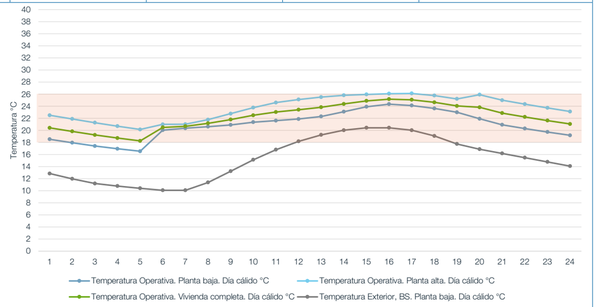
Universidad de Cuenca

Anexo 06: Simulación E1_03: Vivienda Tradicional Esquinera. Orientación actual 4,31 grados respecto al Este. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación actual	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_03	Esquinera	4,31 grados respecto al Este	"20,069 °C (TO) 14,262 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,261 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,769 °C (TO) 14,844 °C (TE)"	"17, septiembre 16,147 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"1, febrero 22,200 °C (TO) 15,258 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

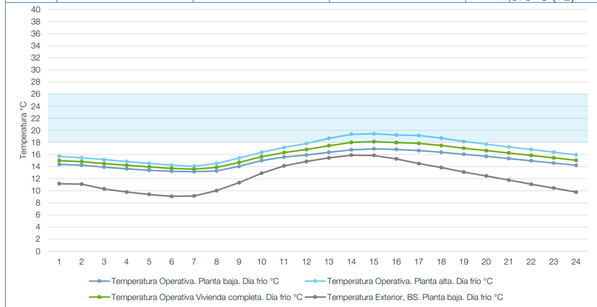


Horas Confort del día más cálido

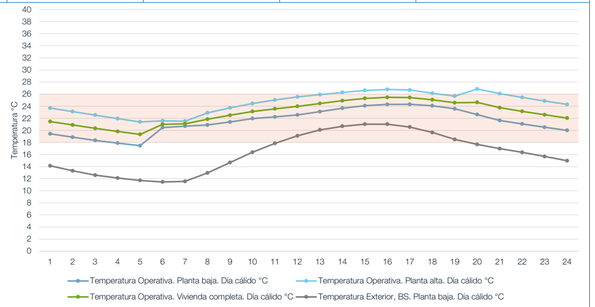
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:1
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:20 (TO) Planta alta:22 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 07: Simulación E1_04: Vivienda Tradicional Esquinera. Orientación actual 4,31 grados respecto al Oeste. 10 ACH50

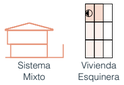
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación actual	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_04	Esquinera	4,31 grados respecto al Oeste	"20,092 °C (TO) 14,262 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,611 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido marzo 20,381 °C (TO) 14,373 °C (TE)"	"17, septiembre 16,211 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 22,477 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

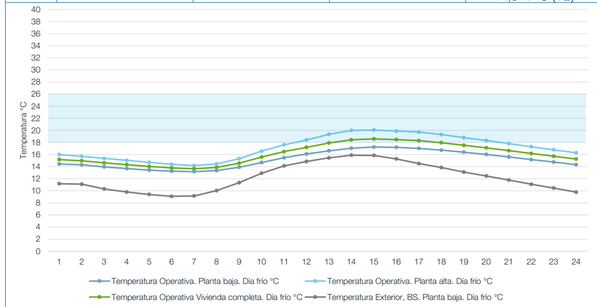


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:2
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:17 (TO) Vivienda completa:24

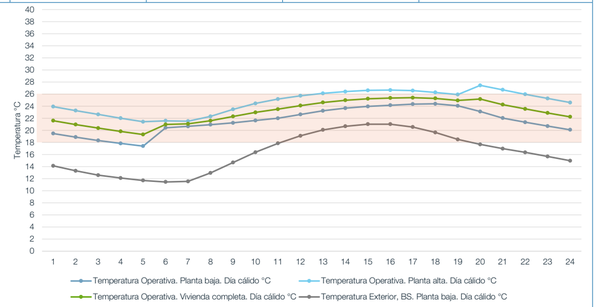
Universidad de Cuenca

Anexo 08: Simulación E1_05: Vivienda Tradicional Aislada. Orientación Norte. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_05	Aislada	Norte	"20,315 °C (TO) 14,262 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,723 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,886 °C (TO) 14,844 °C (TE)"	"17, septiembre 16,396 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 22,543 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

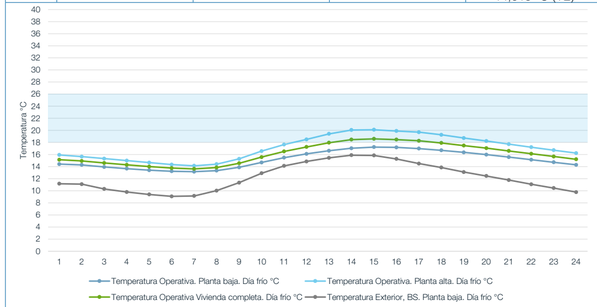


Horas Confort del día más cálido

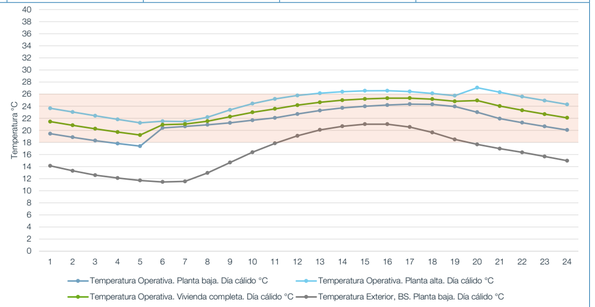
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:9 (TO) Vivienda completa:4
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 09: Simulación E1_06: Vivienda Tradicional Aislada. Orientación Sur. 10 ACH50

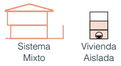
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_06	Aislada	Sur	"20,304 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,638 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,871 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 16,379 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 22,496 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



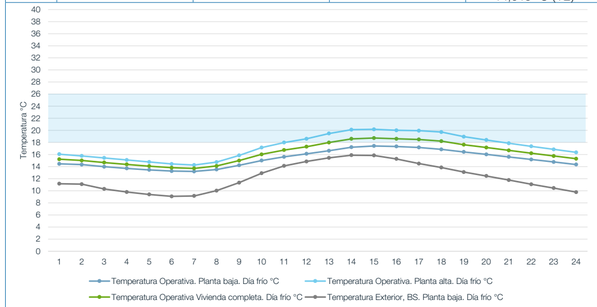
Horas Confort del día más cálido



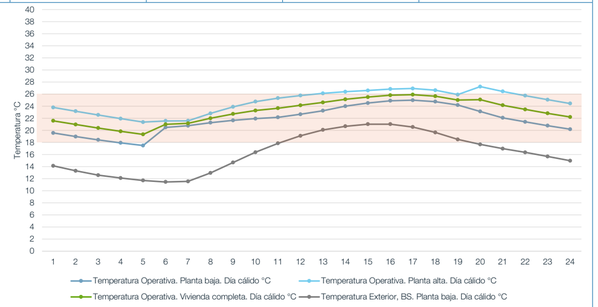
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:9 (TO) Vivienda completa:4
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 10: Simulación E1_07: Vivienda Tradicional Aislada. Orientación Este. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_07	Aislada	Este	"20,445 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,824 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,937 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 16,505 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 22,708 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

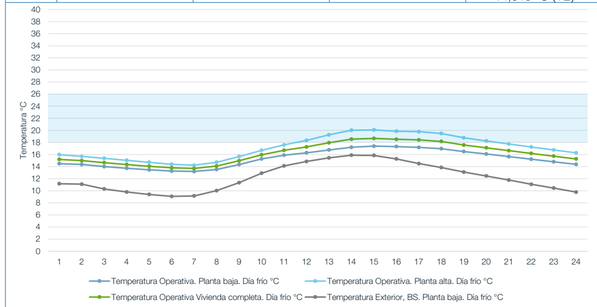


Horas Confort del día más cálido

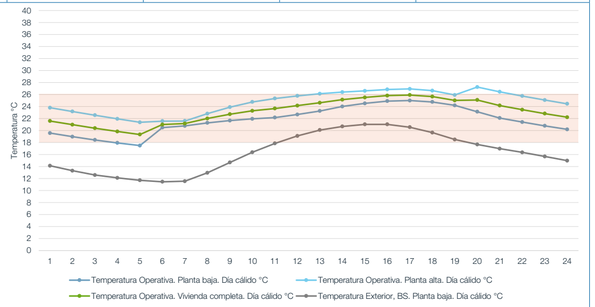
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:9 (TO) Vivienda completa:5
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 11: Simulación E1_08: Vivienda Tradicional Aislada. Orientación Oeste. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_08	Aislada	Oeste	"20,445 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,729 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,974 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 16,480 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 22,711 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



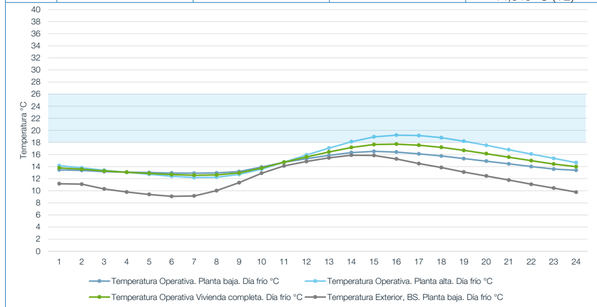
Horas Confort del día más cálido

Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:9 (TO) Vivienda completa:5
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:24

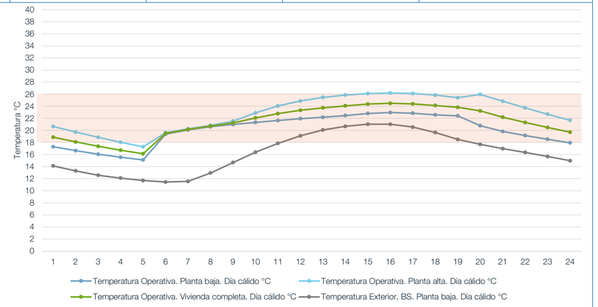
Universidad de Cuenca

Anexo 12: Simulación E1_09: Vivienda LSF Medianera. Orientación Norte. 25 ACH50

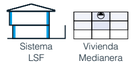
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_09	Medianera	Norte	"19,405 °C (TO) 14,261°C (TE)"	"Mes frio julio 18,953 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,738 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 15,193 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 21,328 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

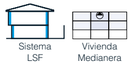


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

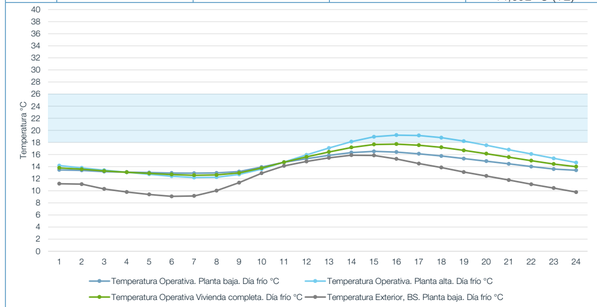




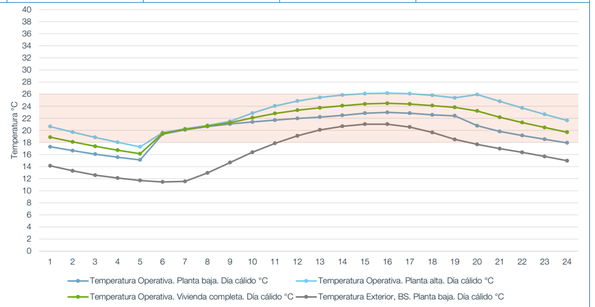
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:20 (TO) Vivienda completa:21

Anexo 13: Simulación E1_10: Vivienda LSF Medianera. Orientación Sur. 25 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_10	Medianera	Sur	"19,412 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,007 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,698 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"17, septiembre 15,192 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 21,356 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



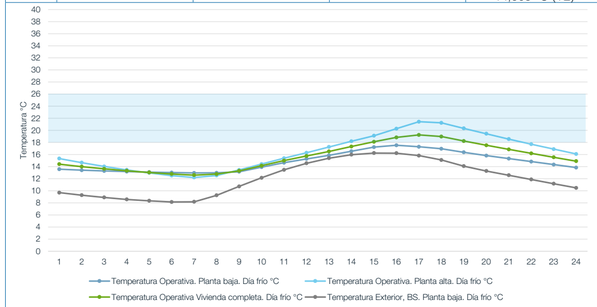
Horas Confort del día más cálido

Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:20 (TO) Vivienda completa:21

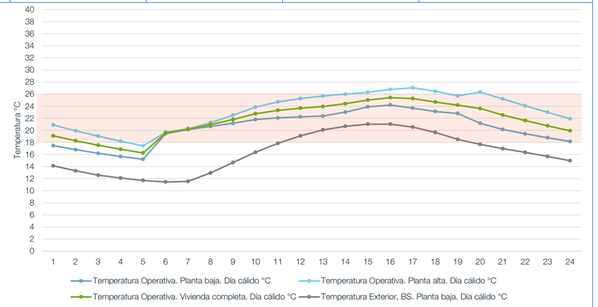
Universidad de Cuenca

Anexo 14: Simulación E1_11: Vivienda LSF Medianera. Orientación Este. 25 ACH50

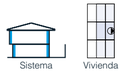
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_11	Medianera	Este	"19,619 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,060 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido octubre 19,909 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"16, julio 15,398 °C (TO) 12,060 °C (TE)"	"11, abril 21,658 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



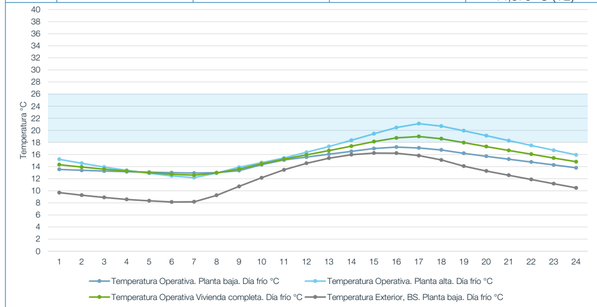
Horas Confort del día más cálido



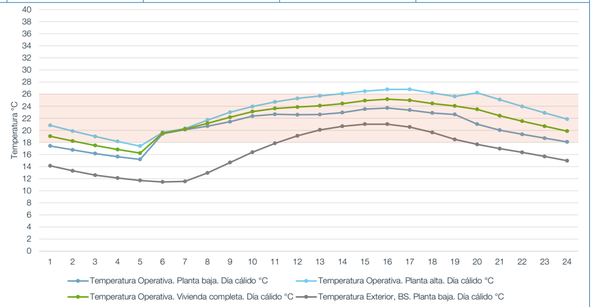
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:5
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:19 (TO) Planta alta:17 (TO) Vivienda completa:21

Anexo 15: Simulación E1_12: Vivienda LSF Medianera. Orientación Oeste. 25 ACH50

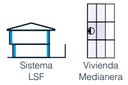
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_12	Medianera	Oeste	"19,626 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,073 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido marzo 19,924 °C (TO) 14,373 °C (TE)"	"16, julio 15,397 °C (TO) 12,060 °C (TE)"	"11, abril 21,646 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

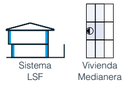


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



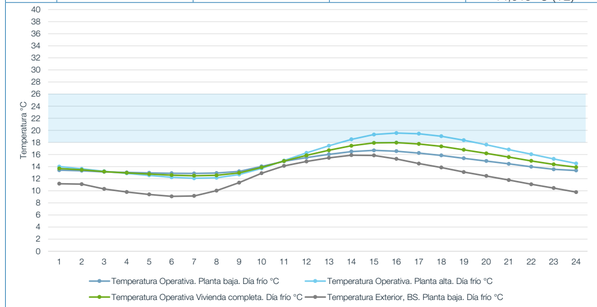


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:4
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:19 (TO) Planta alta:17 (TO) Vivienda completa:21

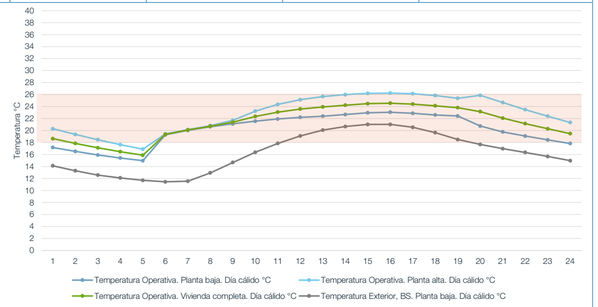
Universidad de Cuenca

Anexo 16: Simulación E1_13: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Norte. 25 ACH50

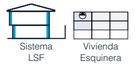
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_13	Esquinera	Norte	"19,390 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,930 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,731 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 15,229 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 21,311 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

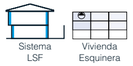


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

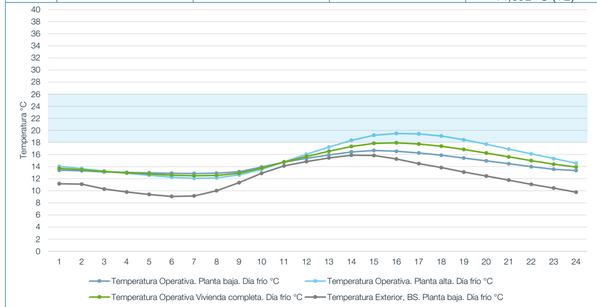




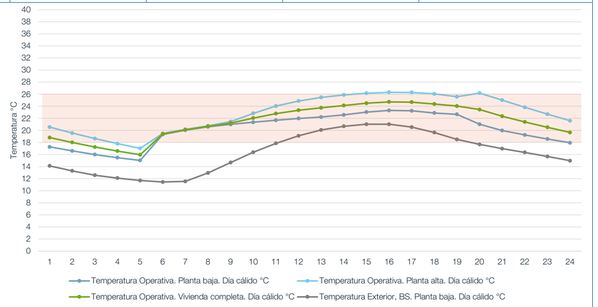
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:19 (TO) Vivienda completa:20

Anexo 17: Simulación E1_14: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Sur. 25 ACH50

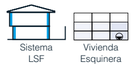
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_14	Esquinera	Sur	"19,395 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,968 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,687 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"17, septiembre 15,202 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 21,382 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

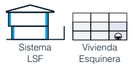


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



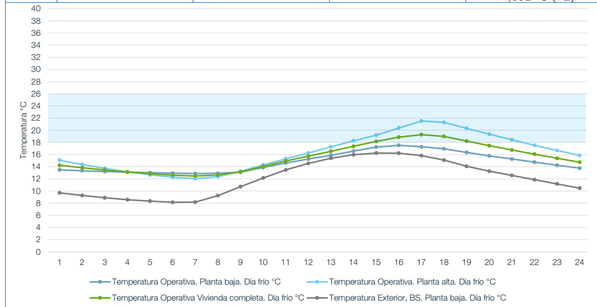


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:17 (TO) Vivienda completa:20

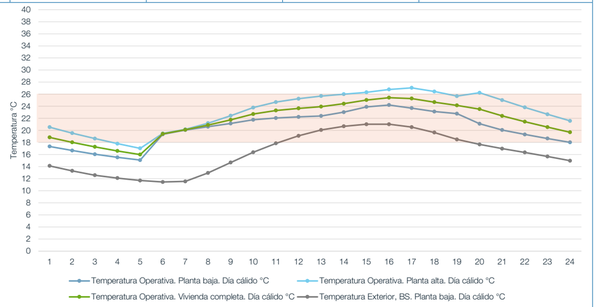
Universidad de Cuenca

Anexo 18: Simulación E1_15: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Este. 25 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_15	Esquinera	Este	"19,556 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,959 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,921 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"16, julio 15,334 °C (TO) 12,060 °C (TE)"	"11, abril 21,557 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

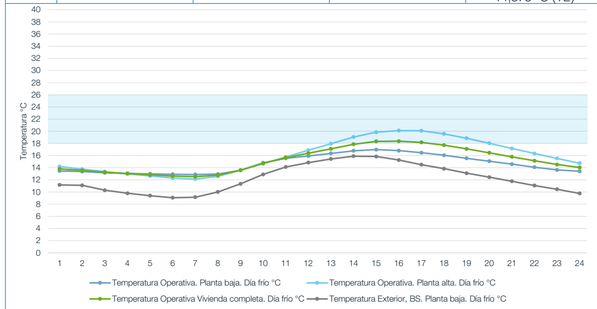


Horas Confort del día más cálido

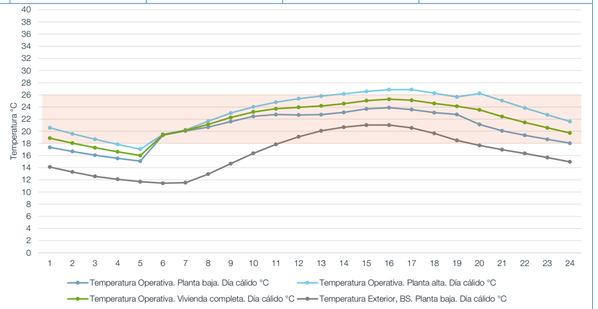
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:5
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:19 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:21

Anexo 19: Simulación E1_16: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Oeste. 25 ACH50

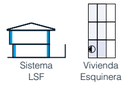
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_16	Esquinera	Oeste	"19,584 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,108 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido marzo 19,855 °C (TO) 14,373 °C (TE)"	"17, septiembre 15,508 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 21,651 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

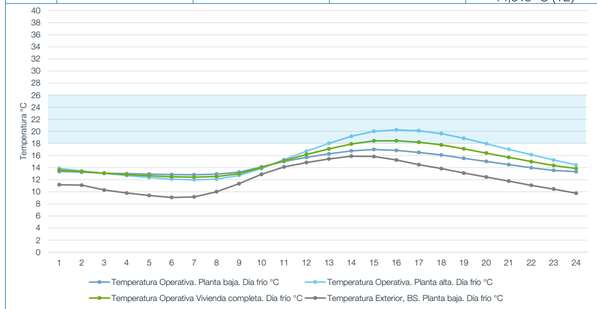


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:3
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:19 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:21

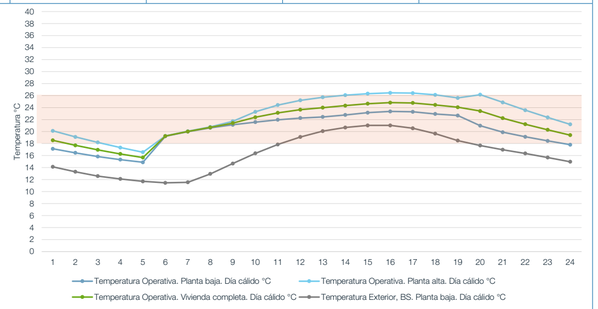
Universidad de Cuenca

Anexo 20: Simulación E1_17: Vivienda LSF Aislada. Orientación Norte. 25 ACH50

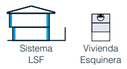
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_17	Aislada	Norte	"19,418 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,932 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,779 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 15,353 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 21,346 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



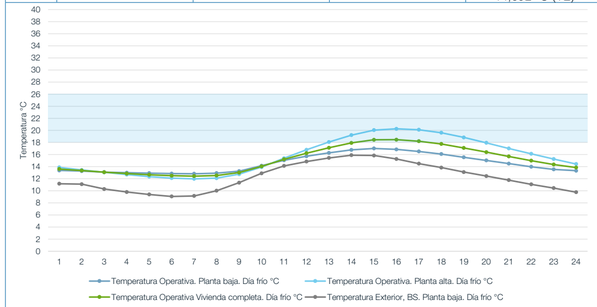
Horas Confort del día más cálido



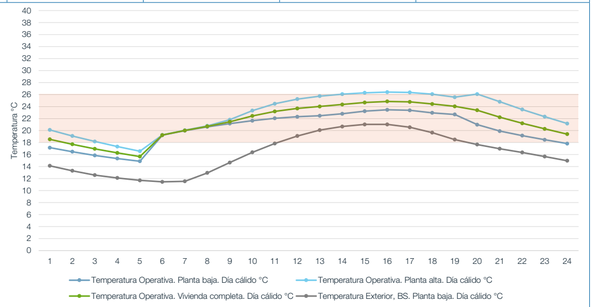
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:3
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:20

Anexo 21: Simulación E1_18: Vivienda LSF Aislada. Orientación Sur. 25 ACH50

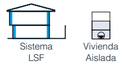
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_18	Aislada	Sur	"19,423 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,979 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,728 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"17, septiembre 15,361 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"11, abril 21,381 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

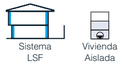


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



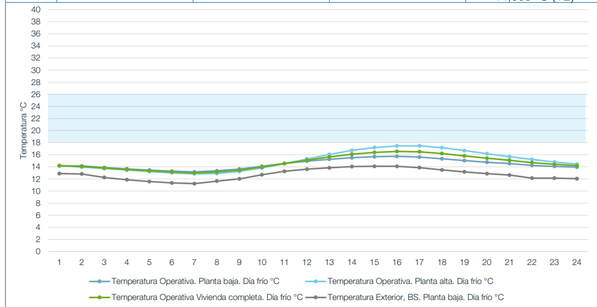


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:3
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:20

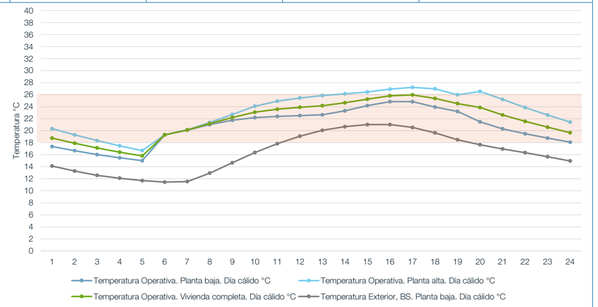
Universidad de Cuenca

Anexo 22: Simulación E1_19: Vivienda LSF Aislada. Orientación Este. 25 ACH50

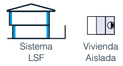
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_19	Aislada	Este	"19,693 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,144 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido octubre 19,994 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"30, julio 15,585 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"11, abril 21,759 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



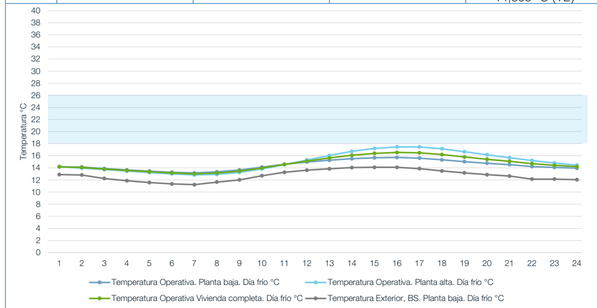
Horas Confort del día más cálido



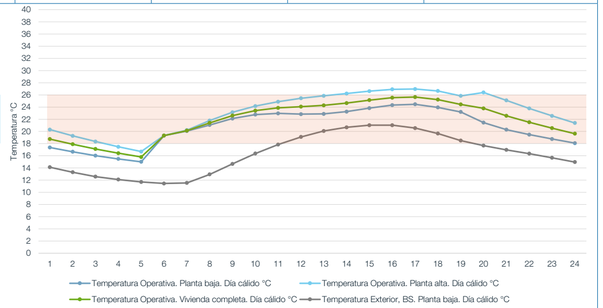
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:0 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:19 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:20

Anexo 23: Simulación E1_20: Vivienda LSF Aislada. Orientación Oeste. 25 ACH50

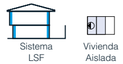
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E1_20	Aislada	Oeste	"19,703 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,163 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido octubre 20,002 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"30, julio 15,564 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"11, abril 21,673 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

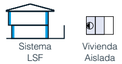


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido





Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:0 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:19 (TO) Planta alta:16 (TO) Vivienda completa:20

Anexo 24: E1. Resumen de simulaciones

No.	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
E1_01	julio	diciembre	17 de septiembre	11 de abril
E1_02	julio	diciembre	17 de septiembre	11 de abril
E1_03	julio	diciembre	17 de septiembre	11 de abril
E1_04	julio	diciembre	17 de septiembre	11 de abril
E1_05	julio	diciembre	17 de septiembre	11 de abril
E1_06	julio	diciembre	17 de septiembre	11 de abril
E1_07	julio	diciembre	17 de septiembre	11 de abril
E1_08	julio	diciembre	17 de septiembre	11 de abril
E1_09	julio	octubre	17 de septiembre	11 de abril
E1_10	julio	octubre	17 de septiembre	11 de abril
E1_11	julio	octubre	17 de septiembre	11 de abril
E1_12	julio	octubre	17 de septiembre	11 de abril
E1_13	julio	octubre	17 de septiembre	11 de abril
E1_14	julio	enero	17 de septiembre	11 de abril
E1_15	julio	enero	17 de septiembre	11 de abril
E1_16	julio	enero	16 de julio	11 de abril
E1_17	julio	enero	16 de julio	11 de abril
E1_18	julio	marzo	16 de julio	11 de abril
E1_19	julio	marzo	30 de julio	11 de abril
E1_20	julio	marzo	30 de julio	1 de febrero

Anexo 25: E1. Promedio de simulaciones por orientación, Sistema Tradicional

Promedio de Temperaturas °C, 10 ACH						
Orientación	Temperatura	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Norte	Temperatura Operativa Interior (TO)	20,315	19,723	20,886	16,396	22,543
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,262	13,673	14,844	12,218	16,285
Sur	Temperatura Operativa Interior (TO)	20,304	19,638	20,871	16,379	22,496
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,815	12,218	16,285
Este	Temperatura Operativa Interior (TO)	20,154	19,442	20,689	16,229	22,413
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,821	12,218	16,285
Oeste	Temperatura Operativa Interior (TO)	20,161	19,524	20,573	16,240	22,510
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,664	12,218	16,285

Anexo 26: E1. Promedio de simulaciones por orientación, Sistema LSF

Promedio de Temperaturas °C, 25 ACH						
Orientación		Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Norte	Temperatura Operativa Interior (TO)	19,404	18,938	19,749	15,258	21,328
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,815	12,218	16,285
Sur	Temperatura Operativa Interior (TO)	19,410	18,985	19,704	15,252	21,373
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,692	12,218	16,285
Este	Temperatura Operativa Interior (TO)	19,623	19,054	19,941	15,439	21,658
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,767	12,218	16,285
Oeste	Temperatura Operativa Interior (TO)	19,638	19,115	19,927	15,490	21,657
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,517	12,218	16,285

Anexo 27: E1. Datos promedio generales

Mes predominante frío	Mes predominante cálido	Día predominante frío	Día predominante cálido
julio	diciembre	17, septiembre	11, abril

Anexo 28: E1. Datos promedio, Sistema Tradicional

Promedio de Temperaturas °C, 10 ACH					
Tipo	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Temperatura Operativa Interior (TO)	20.195 °C	19.532 °C	20.737 °C	16.272 °C	22.475 °C
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14.261 °C	13.673 °C	14.724 °C	12.218 °C	16.285 °C

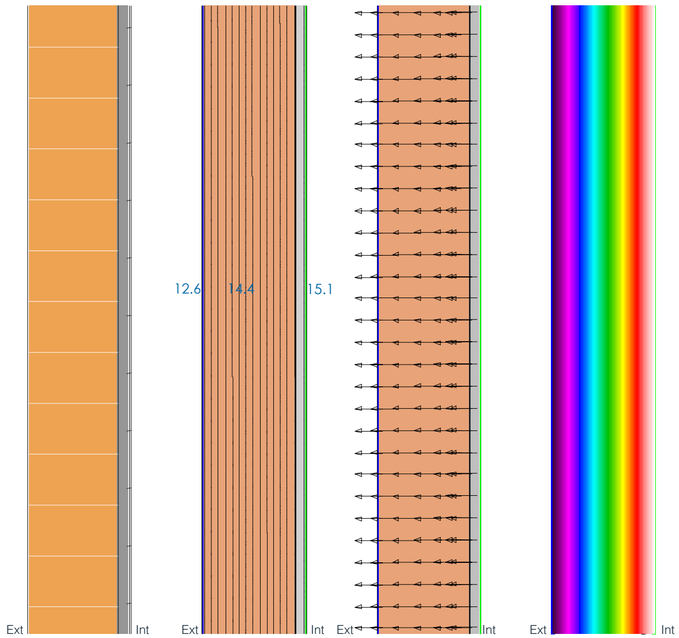
Anexo 29: E1. Datos promedio, Sistema LSF

Promedio de Temperaturas °C, 25 ACH					
Tipo	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Temperatura Operativa Interior (TO)	19.518 °C	19.021 °C	19.830 °C	15.359 °C	21.504 °C
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14.261 °C	13.673 °C	14.724 °C	12.218 °C	16.285 °C

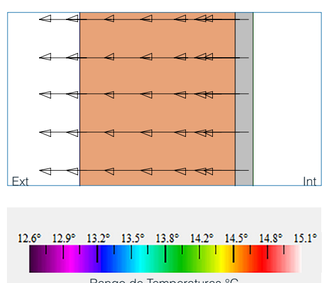
Anexo 30: Horas confort de la Etapa 01 de Simulaciones

Sistema Constructivo	Tipología de vivienda	Orientación	No.	Día más frío (TO)			Día más cálido (TO)		
				Planta baja	Planta alta	Todo	Planta baja	Planta alta	Todo
Sistema Tradicional	Medianera	Este	E1_01	0	7	0	22	16	24
		Oeste	E1_02	0	6	0	22	16	24
	Esquinera	Este	E1_03	0	8	1	20	22	24
		Oeste	E1_04	0	7	2	22	17	24
	Aislada	Norte	E1_05	0	9	4	22	16	24
		Sur	E1_06	0	9	4	22	16	24
		Este	E1_07	0	9	5	22	16	24
		Oeste	E1_08	0	9	5	22	16	24
Sistema LSF	Medianera	Norte	E1_09	0	6	0	18	20	21
		Sur	E1_10	0	6	0	18	20	21
		Este	E1_11	0	8	5	19	17	21
		Oeste	E1_12	0	8	4	19	17	21
	Esquinera	Norte	E1_13	0	6	0	18	19	20
		Sur	E1_14	0	6	0	18	17	20
		Este	E1_15	0	8	5	19	16	21
		Oeste	E1_16	0	7	3	19	16	21
	Aislada	Norte	E1_17	0	7	3	18	16	20
		Sur	E1_18	0	7	3	18	16	20
		Este	E1_19	0	0	0	19	16	20
		Oeste	E1_20	0	0	0	19	16	20

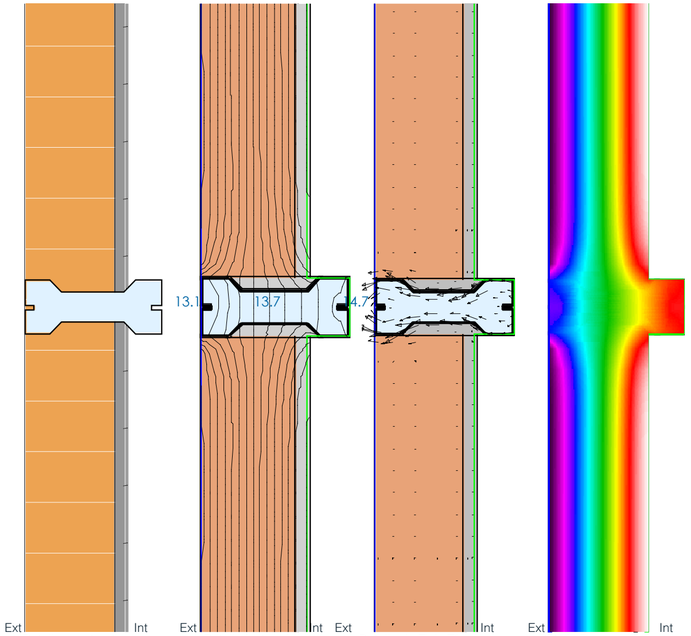
Anexo 31: T01: VEA_Vivienda en estado actual



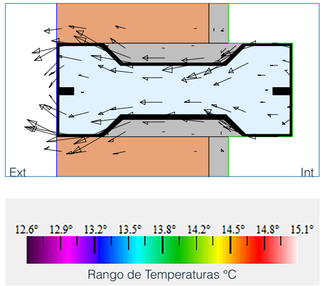
Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Sin aislamiento
Estructura Metálica	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	16,2720
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	0,4562
Transmitancia Térmica	2,1922
Flujo de Calor	30,2170



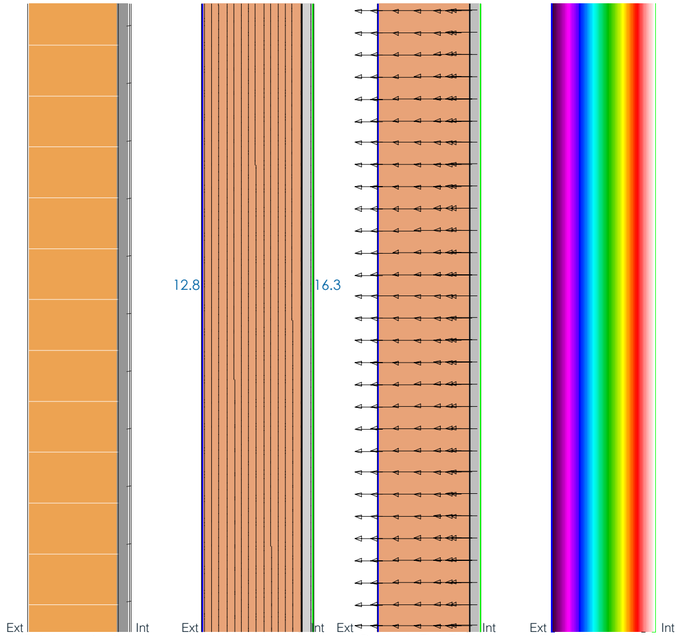
Anexo 32: T02: VEA_Vivienda en estado actual



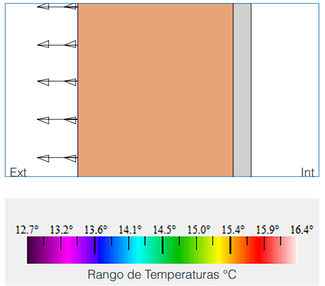
Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Sin aislamiento
Estructura Metálica	Incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	16,2720
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	0,4297
Transmitancia Térmica	2,3271
Flujo de Calor	32,0753



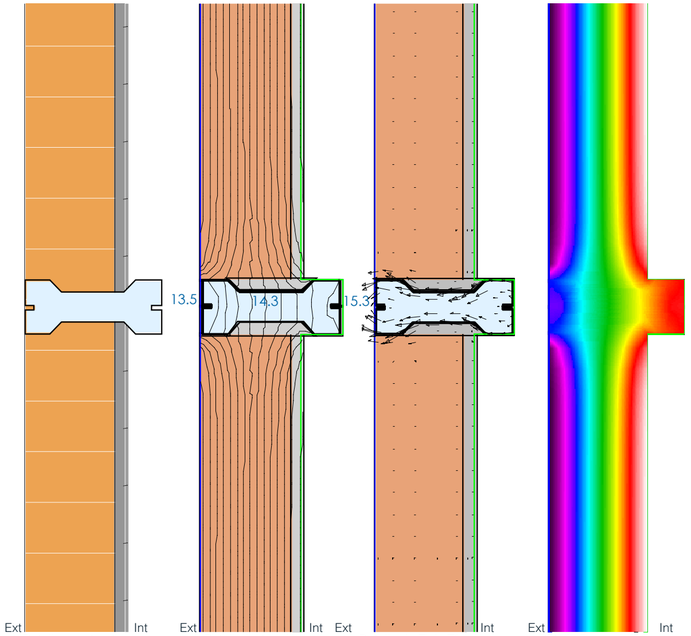
Anexo 33: T03: VEA_Vivienda en estado actual



Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Sin aislamiento
Estructura Metálica	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura Confort
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	0,4561
Transmitancia Térmica	2,1923
Flujo de Calor	43,0970

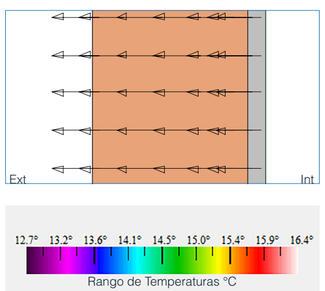


Anexo 34: T04: VEA_Vivienda en estado actual

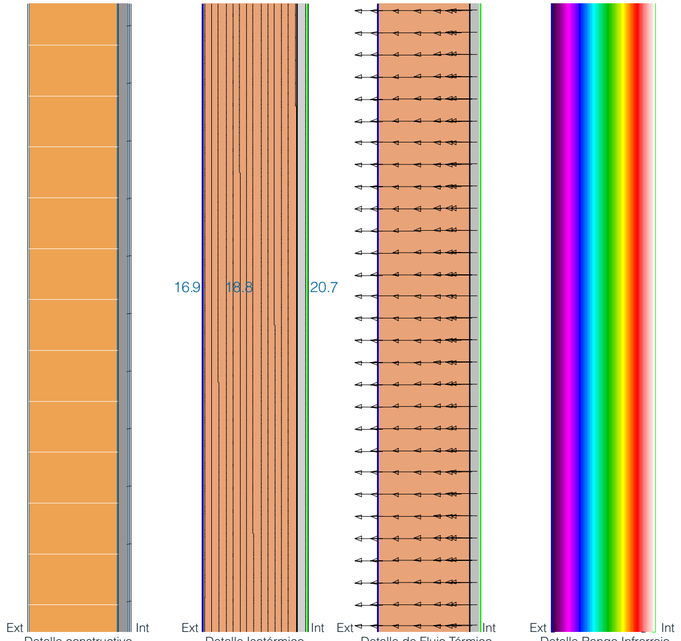


Temperatura promedio día más fío

Ubicación del aislamiento	Sin aislamiento
Estructura Metálica	Incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura confort
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	0,4297
Transmitancia Térmica	2,3272
Flujo de Calor	45,7503

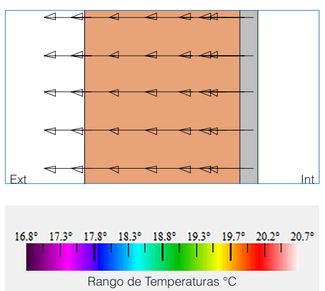


Anexo 35: T05: VEA_Vivienda en estado actual

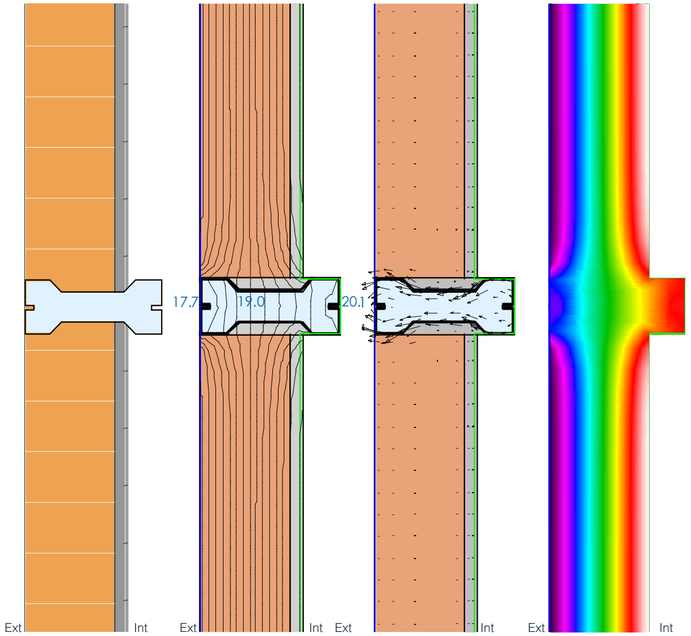


Temperatura promedio día más cálido

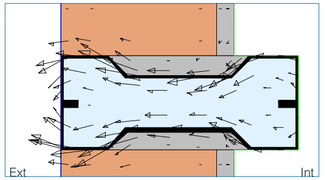
Ubicación del aislamiento	Sin aislamiento
Estructura Metálica	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	22,4750
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia térmica	0,4562
Transmitancia Térmica	2,1921
Flujo de Calor	46,1350

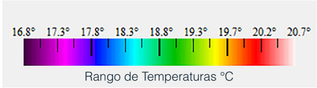


Anexo 36: T06: VEA_Vivienda en estado actual

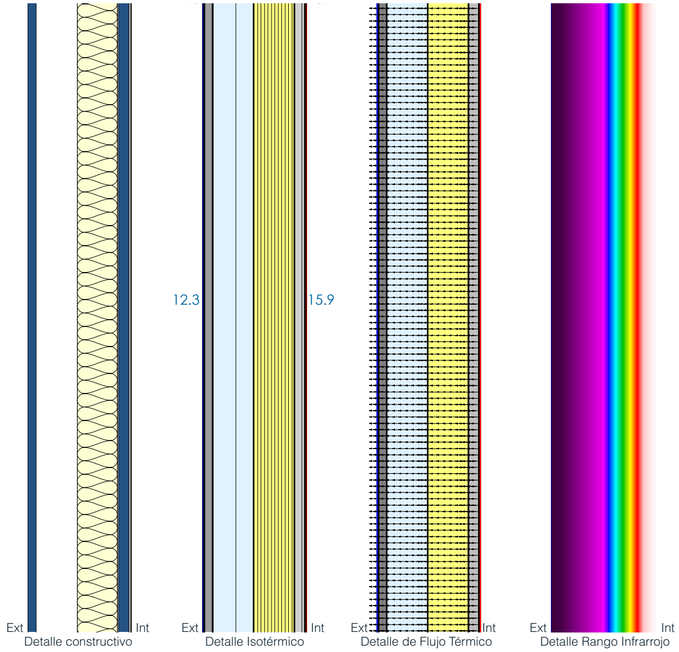


Temperatura promedio día más cálido	
Ubicación del aislamiento	Sin aislamiento
Estructura Metálica	Incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	22,4750
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia térmica	0,4297
Transmitancia Térmica	2,3272
Flujo de Calor	48,9772

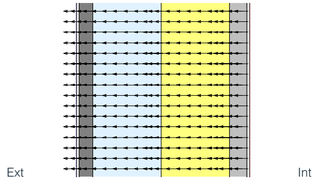


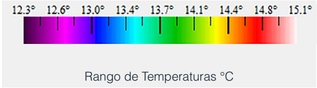


Anexo 37: T07: LSF_Propuesta

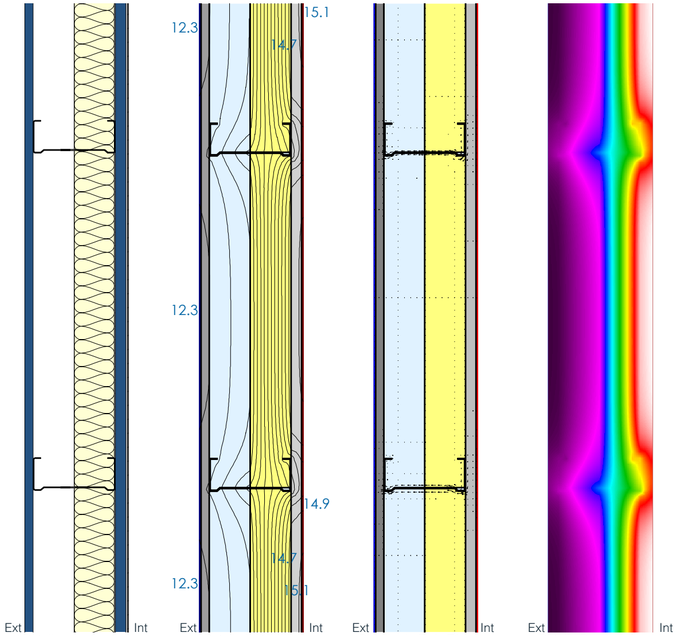


Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Interior
Estructura LSF	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	15,3590
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	1,8369
Transmitancia Térmica	0,5444
Flujo de Calor	1,4022



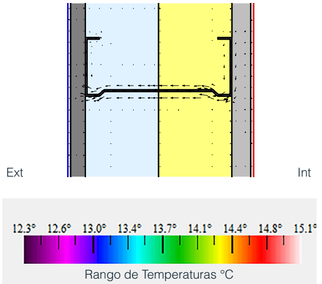


Anexo 38: T07: LSF_Propuesta

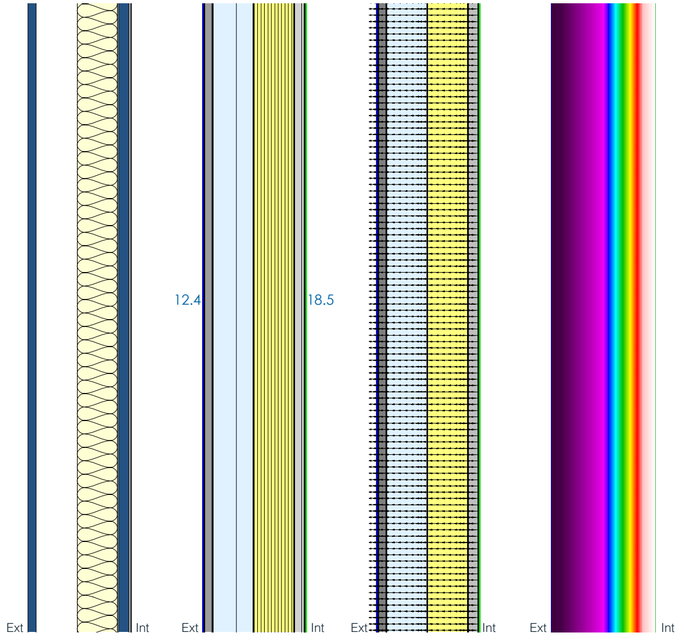


Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Interior
Estructura LSF	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	15,3590
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	1,8369
Transmitancia Térmica	0,5444
Flujo de Calor	1,4022

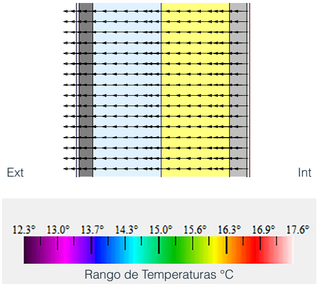


Anexo 39: T09: LSF_Propuesta

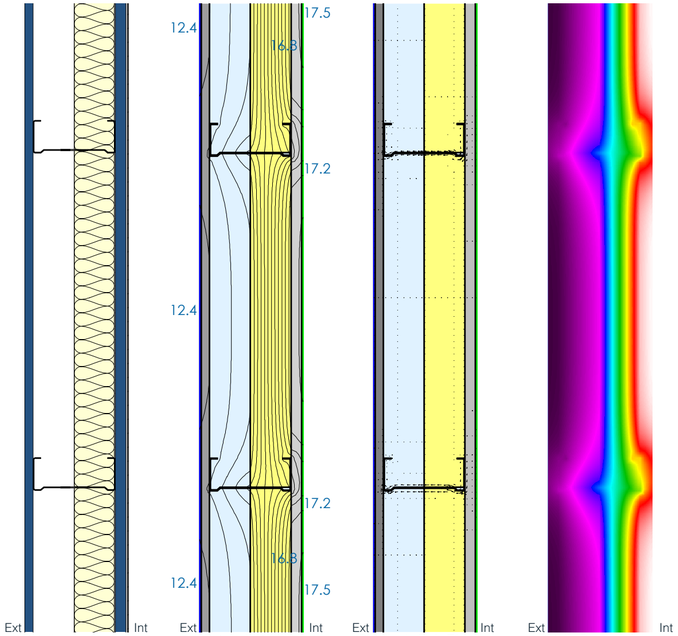


Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Interior
Estructura LSF	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura confort
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	1,8305
Transmitancia Térmica	0,5463
Flujo de Calor	2,5901



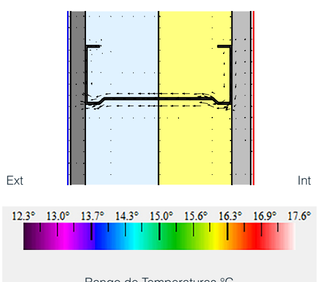
Anexo 40: T10: LSF_Propuesta



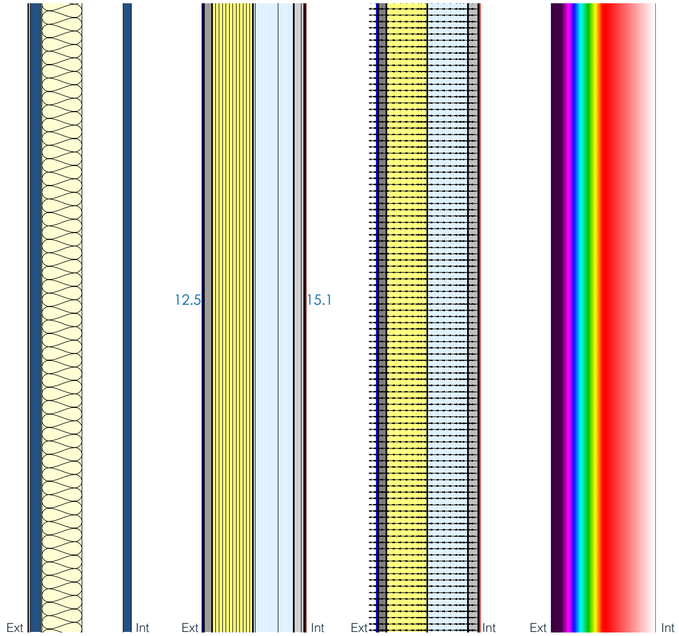
Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más fío

Ubicación del aislamiento	Interior
Estructura LSF	Incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura confort
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	1,2410
Transmitancia Térmica	0,8058
Flujo de Calor	3,8204



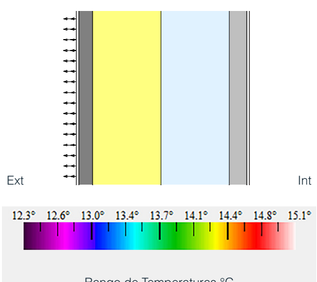
Anexo 41: T11: LSF_Propuesta



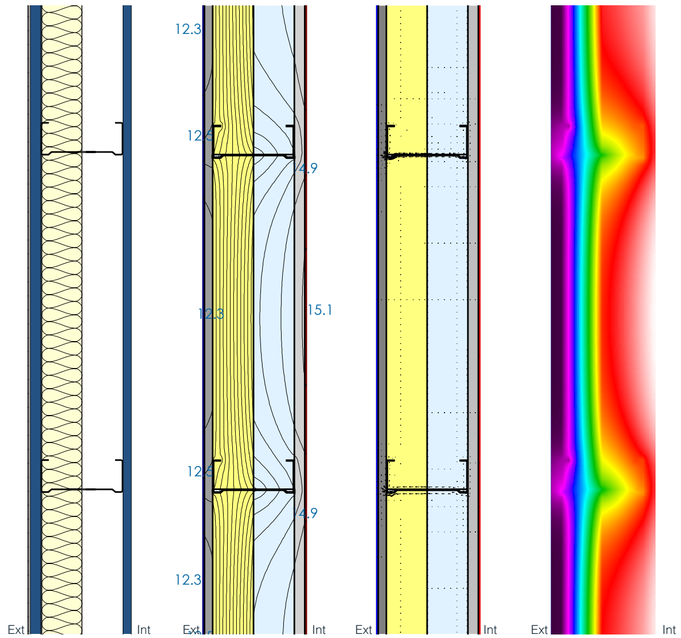
Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más fío

Ubicación del aislamiento	Exterior
Estructura LSF	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	15,3590
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	1,8322
Transmitancia Térmica	0,5458
Flujo de Calor	1,4058

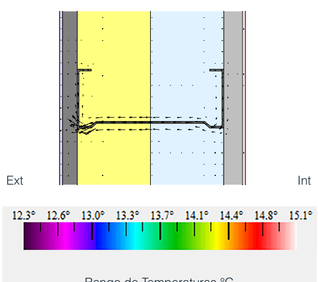


Anexo 42: T12: LSF_Propuesta

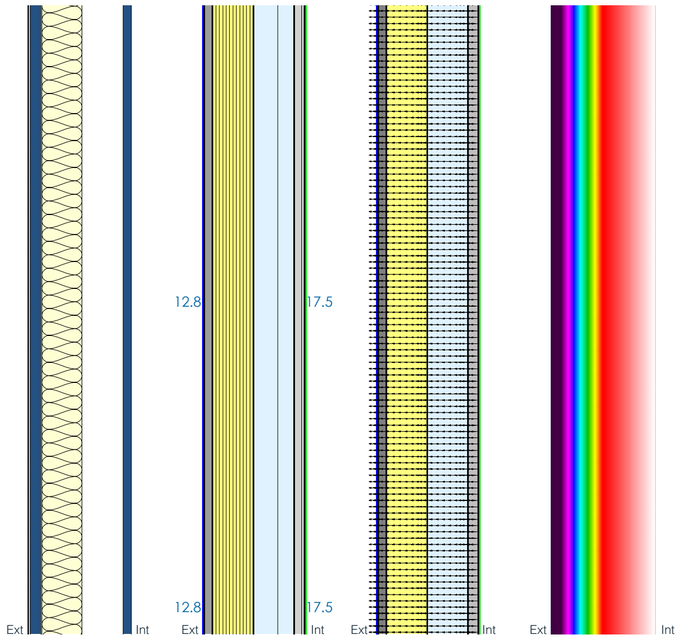


Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Exterior
Estructura LSF	Incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	15,3590
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	1,1468
Transmitancia Térmica	0,8720
Flujo de Calor	2,2459

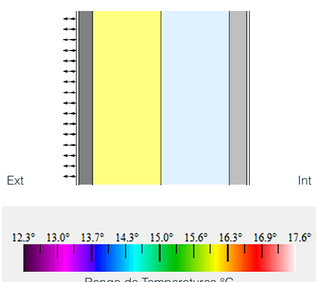


Anexo 43: T13: LSF_Propuesta

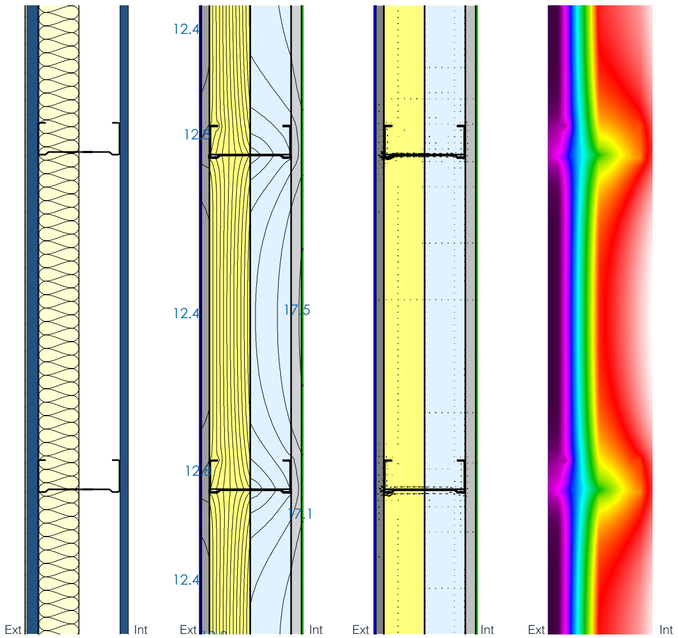


Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Exterior
Estructura LSF	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura confort
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	1,8228
Transmitancia Térmica	0,5486
Flujo de Calor	2,6011

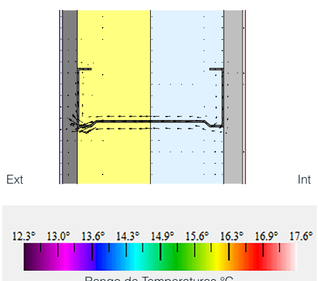


Anexo 44: T14: LSF_Propuesta

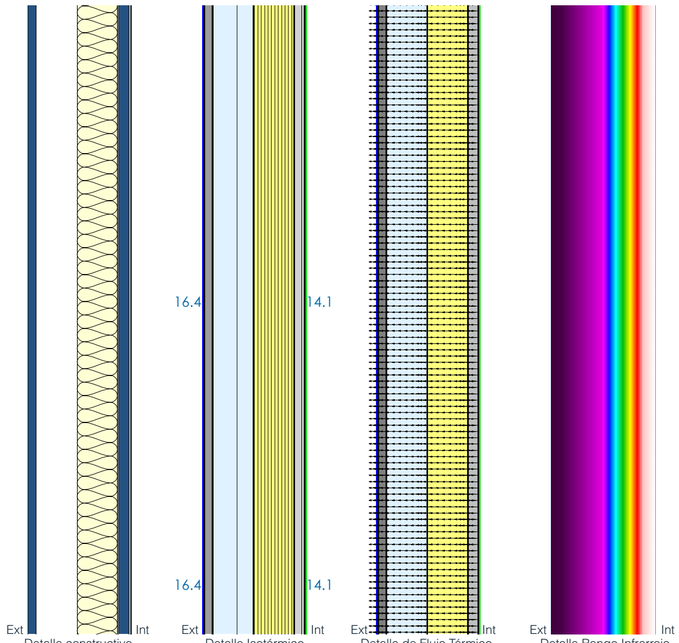


Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más fío	
Ubicación del aislamiento	Exterior
Estructura LSF	Incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura confort
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia térmica	1,1384
Transmitancia Térmica	0,8784
Flujo de Calor	4,1645

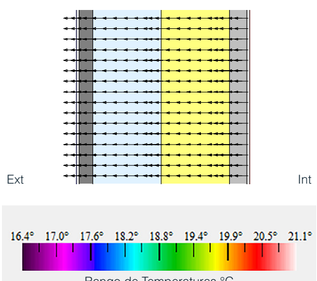


Anexo 45: T15: LSF_Propuesta

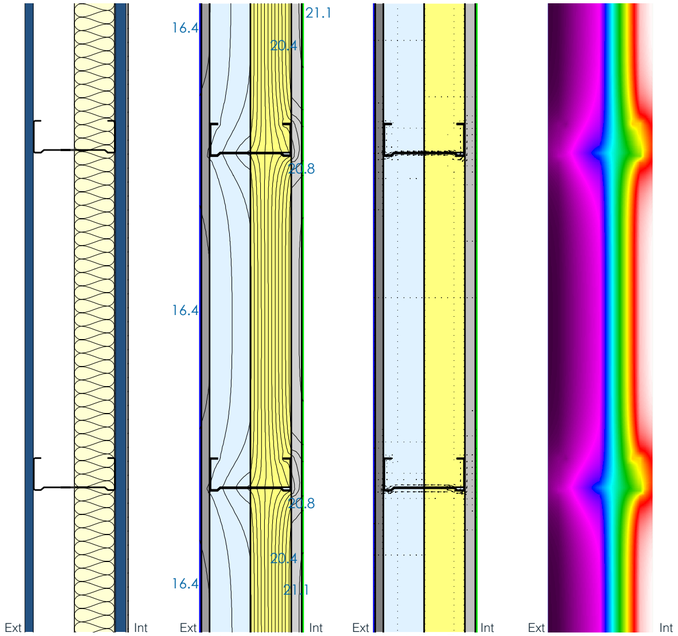


Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más cálido	
Ubicación del aislamiento	Interior
Estructura LSF	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia térmica	1,8242
Transmitancia Térmica	0,5482
Flujo de Calor	2,3460

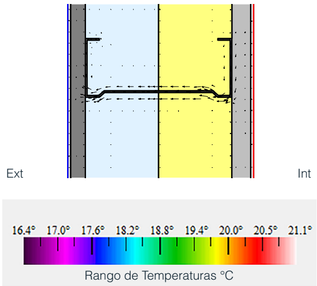


Anexo 46: T16: LSF_Propuesta

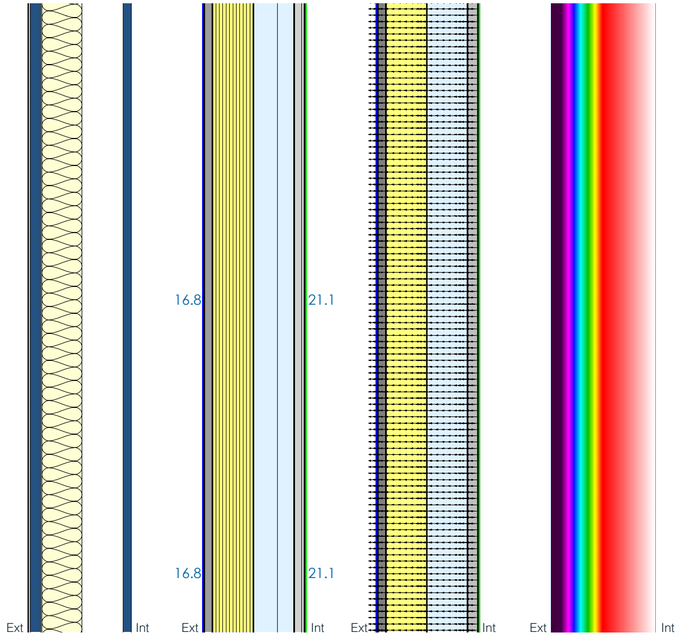


Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más cálido	
Ubicación del aislamiento	Interior
Estructura LSF	Incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia térmica	1,2370
Transmitancia Térmica	0,8084
Flujo de Calor	3,4595

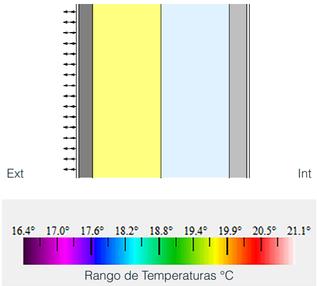


Anexo 47: T17: LSF_Propuesta

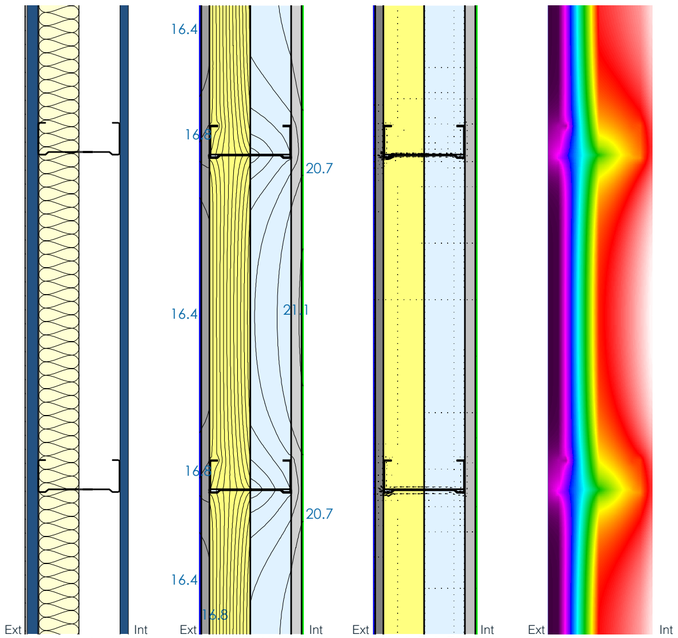


Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más cálido	
Ubicación del aislamiento	Exterior
Estructura LSF	No incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia térmica	1,8188
Transmitancia Térmica	0,5498
Flujo de Calor	2,3528

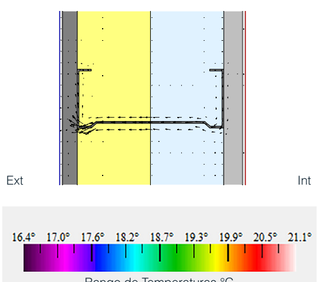


Anexo 48: T18: LSF_Propuesta



Detalle constructivo | Detalle Isotérmico | Detalle de Flujo Térmico | Detalle Rango Infrarrojo

Temperatura promedio día más cálido	
Ubicación del aislamiento	Exterior
Estructura LSF	Incluye
Tipo de temperatura promedio del sistema	Temperatura real
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia térmica	1,1358
Transmitancia Térmica	0,8804
Flujo de Calor	3,7678



Anexo 49: E1. Análisis de los factores térmicos R, U y W en las secciones constructivas de las 18 simulaciones con Therm

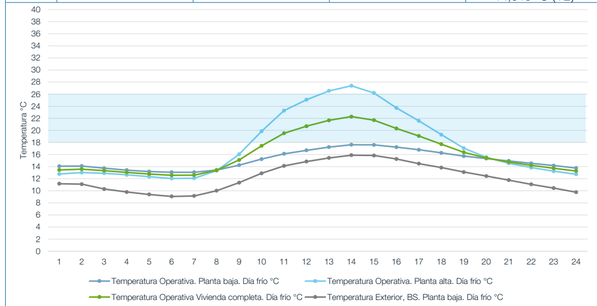
No.	Tipo de Simulación	Ubicación de la capa de Aislamiento	Característica de la Sección	Tipo de Temperatura Promedio			Resistencia térmica	Transmitancia Térmica	Flujo de Calor
				Temperatura Operativa Interior (TO) °C		Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	R m2K/W	U=1/R W/m2k	W
T01	VEA_Temperatura promedio día más fío	Sin aislamiento	No Incluye estructura metálica	Temperatura real	16,272	12,218	0,4562	2,1922	30,2170
T02			Incluye estructura metálica	Temperatura real	16,272	12,218	0,4297	2,3271	32,0753
T03			No Incluye estructura metálica	Temperatura confort	18,000	12,218	0,4561	2,1923	43,0970
T04			Incluye estructura metálica	Temperatura confort	18,000	12,218	0,4297	2,3272	45,7503
T05	VEA_Temperatura Promedio día más cálido	Sin aislamiento	No Incluye estructura metálica	Temperatura real	22,475	16,285	0,4562	2,1921	46,1350
T06			Incluye estructura metálica	Temperatura real	22,475	16,285	0,4297	2,3272	48,9772
T07	LSF_Temperatura promedio día más frío	Aislamiento hacia la cara interior de la sección	No Incluye estructura LSF	Temperatura real	15,359	12,218	1,8369	0,5444	1,4022
T08			Incluye estructura LSF	Temperatura real	15,359	12,218	1,2450	0,8032	2,0687
T09			No Incluye estructura LSF	Temperatura confort	18,000	12,218	1,8305	0,5463	2,5901
T10			Incluye estructura LSF	Temperatura confort	18,000	12,218	1,2410	0,8058	3,8204
T11		Aislamiento hacia la cara exterior de la sección	No Incluye estructura LSF	Temperatura real	15,359	12,218	1,8322	0,5458	1,4058
T12			Incluye estructura LSF	Temperatura real	15,359	12,218	1,1468	0,8720	2,2459
T13			No Incluye estructura LSF	Temperatura confort	18,000	12,218	1,8228	0,5486	2,6011
T14			Incluye estructura LSF	Temperatura confort	18,000	12,218	1,1384	0,8784	4,1645
T15	LSF_Temperatura promedio día más cálido	Aislamiento hacia la cara interior de la sección	No Incluye estructura LSF	Temperatura real	21,504	16,285	1,8242	0,5482	2,3460
T16			Incluye estructura LSF	Temperatura real	21,504	16,285	1,2370	0,8084	3,4595
T17		Aislamiento hacia la cara exterior de la sección	No Incluye estructura LSF	Temperatura real	21,504	16,285	1,8188	0,5498	2,3528
T18			Incluye estructura LSF	Temperatura real	21,504	16,285	1,1358	0,8804	3,7678

Anexo 50: E1. Diferencia de los valores de los factores térmicos R, U y W, de la tabla 4.49, cuando se considera la estructura interior expresados en porcentajes

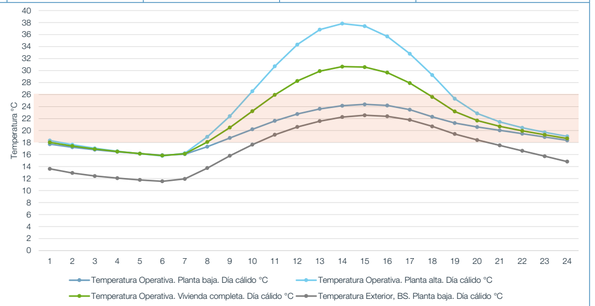
No.	Tipo de Simulación	Ubicación de la capa de Aislamiento	Característica de la Sección	Tipo de Temperatura Promedio			Resistencia térmica	Transmitancia Térmica	Flujo de Calor
				Temperatura Operativa Interior (TO) °C		Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	R m2K/W	U=1/R W/m2k	W
T01	VEA_Temperatura promedio día más fío	Sin aislamiento	No Incluye estructura metálica	Temperatura real	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T02			Incluye estructura metálica	Temperatura real	100,00%	100,00%	94,20%	106,15%	106,15%
T03			No Incluye estructura metálica	Temperatura confort	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T04			Incluye estructura metálica	Temperatura confort	100,00%	100,00%	94,20%	106,15%	106,16%
T05	VEA_Temperatura Promedio día más cálido	Sin aislamiento	No Incluye estructura metálica	Temperatura real	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T06			Incluye estructura metálica	Temperatura real	100,00%	100,00%	94,19%	106,16%	106,16%
T07	LSF_Temperatura promedio día más frío	Aislamiento hacia la cara interior de la sección	No Incluye estructura LSF	Temperatura real	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T08			Incluye estructura LSF	Temperatura real	100,00%	100,00%	67,78%	147,54%	147,53%
T09			No Incluye estructura LSF	Temperatura confort	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T10			Incluye estructura LSF	Temperatura confort	100,00%	100,00%	67,80%	147,50%	147,50%
T11		Aislamiento hacia la cara exterior de la sección	No Incluye estructura LSF	Temperatura real	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T12			Incluye estructura LSF	Temperatura real	100,00%	100,00%	62,59%	159,77%	159,76%
T13			No Incluye estructura LSF	Temperatura confort	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T14			Incluye estructura LSF	Temperatura confort	100,00%	100,00%	62,45%	160,12%	160,11%
T15	LSF_Temperatura promedio día más cálido	Aislamiento hacia la cara interior de la sección	No Incluye estructura LSF	Temperatura real	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T16			Incluye estructura LSF	Temperatura real	100,00%	100,00%	67,81%	147,46%	147,46%
T17		Aislamiento hacia la cara exterior de la sección	No Incluye estructura LSF	Temperatura real	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
T18			Incluye estructura LSF	Temperatura real	100,00%	100,00%	62,45%	160,13%	160,14%

Anexo 51: Simulación E2_01: Vivienda Tradicional Medianera. Orientación Norte. 10 ACH50

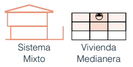
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_01	Medianera	Norte	"19,854 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio septiembre 19,378 °C (TO) 13,892 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,273 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 16,466 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"16, diciembre 21,775 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

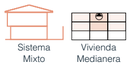


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

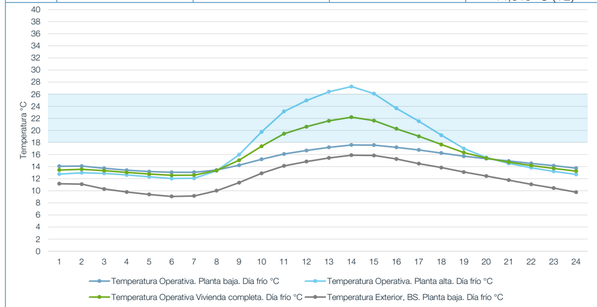




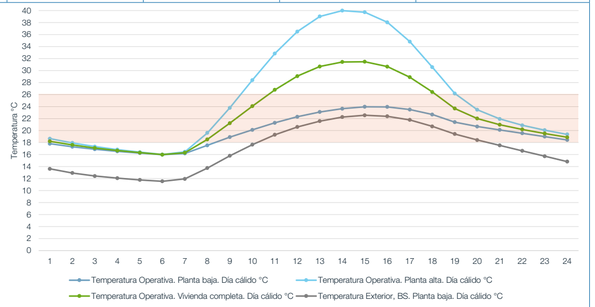
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:7
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:16 (TO) Planta alta:9 (TO) Vivienda completa:12

Anexo 52: Simulación E2_02: Vivienda Tradicional Medianera. Orientación Sur. 10 ACH50

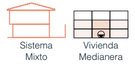
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_02	Medianera	Sur	"19,850 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,337 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,359 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 16,409 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"16, diciembre 21,152 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

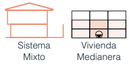


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



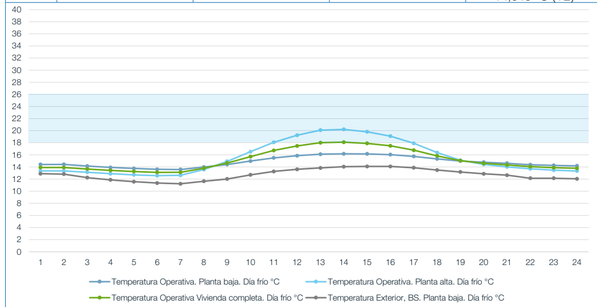


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:7
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:16 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:10

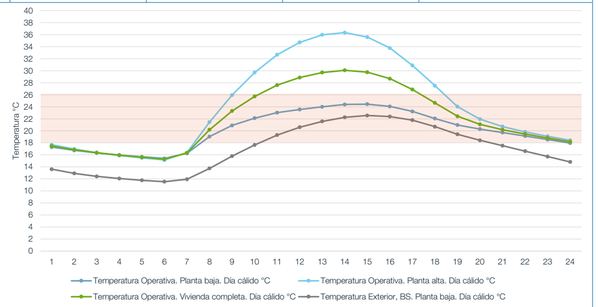
Universidad de Cuenca

Anexo 53: Simulación E2_03: Vivienda Tradicional Esquinera. Orientación Norte. 10 ACH50

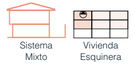
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_03	Esquinera	Norte	"19,643 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio septiembre 19,146 °C (TO) 13,892 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,095 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"30, julio 16,251 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"16, diciembre 21,751 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

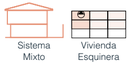


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

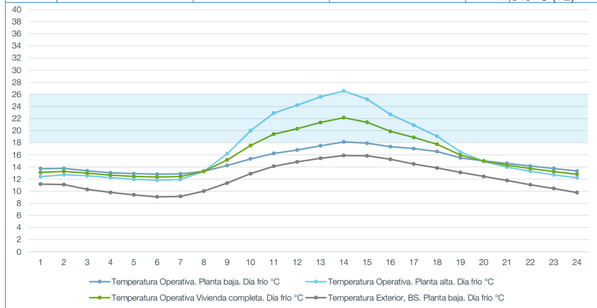




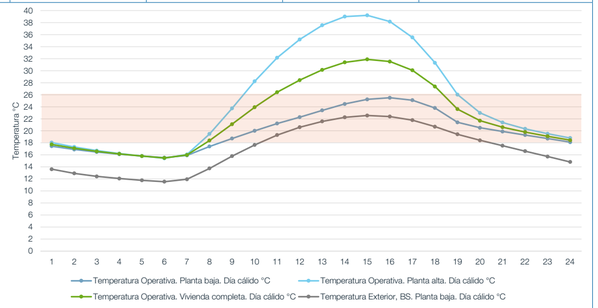
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:2
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:16 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:10

Anexo 54: Simulación E2_04: Vivienda Tradicional Esquinera. Orientación Sur. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_04	Esquinera	Sur	"19,678 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 19,083 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 20,143 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"17, septiembre 16,126 °C (TO) 12,218 °C (TE)"	"16, diciembre 22,023 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



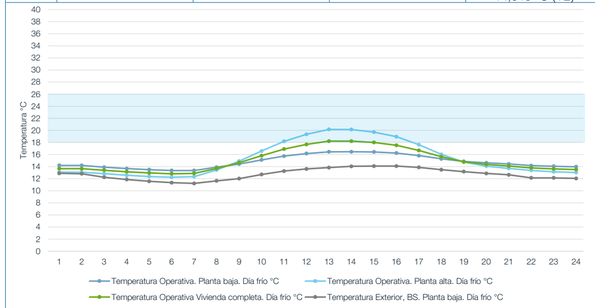
Horas Confort del día más cálido

Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:1 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:7
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:16 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:9

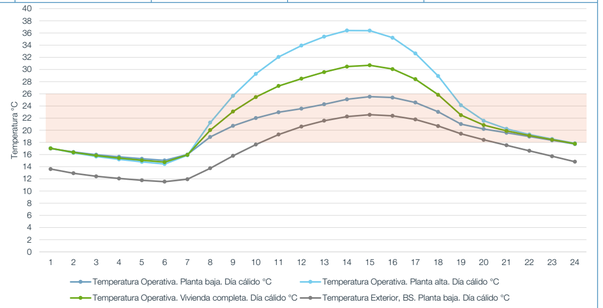
Universidad de Cuenca

Anexo 55: Simulación E2_05: Vivienda Tradicional Aislada. Orientación Norte. 10 ACH50

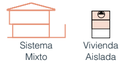
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_05	Aislada	Norte	"19,442 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,903 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,926 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"30, julio 15,981 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"16, diciembre 21,713 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

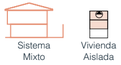


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

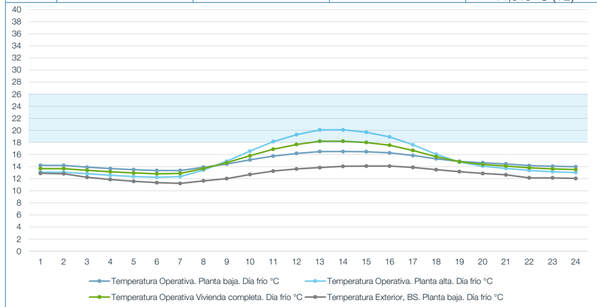




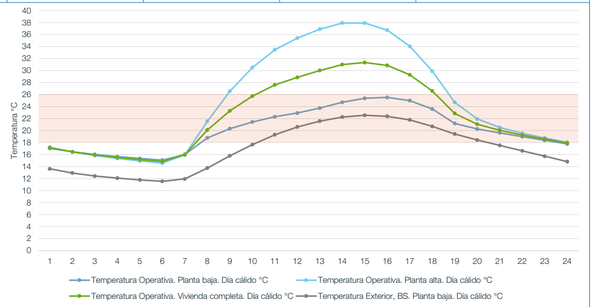
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:2
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:16 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:9

Anexo 56: Simulación E2_06: Vivienda Tradicional Aislada. Orientación Sur. 10 ACH50

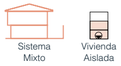
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_06	Aislada	Sur	"19,441 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,844 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,969 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"30, julio 15,956 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"16, diciembre 21,945 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

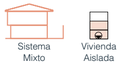


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

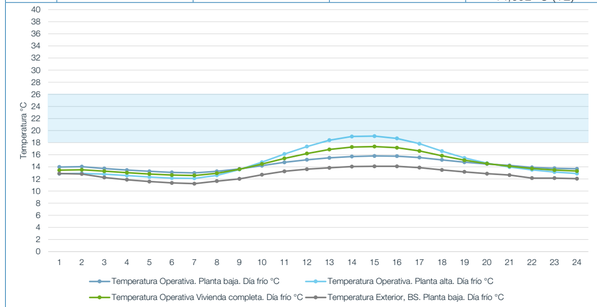




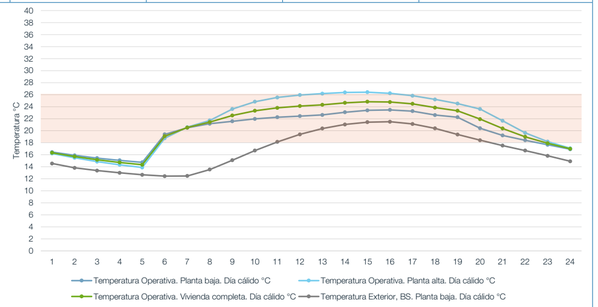
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:6 (TO) Vivienda completa:3
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:16 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:8

Anexo 57: Simulación E2_07: Vivienda LSF Medianera. Orientación Norte. 25 ACH50

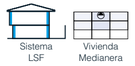
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_07	Medianera	Norte	"18,911 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,488 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,272 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,805 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"22, febrero 20,712 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

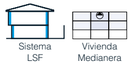


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

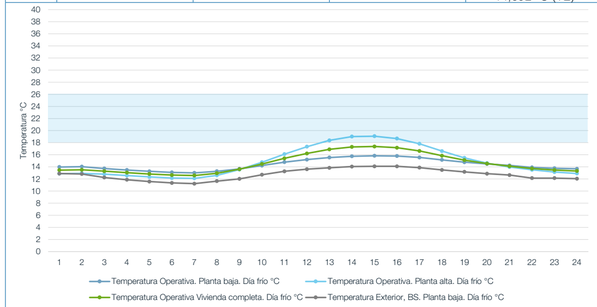




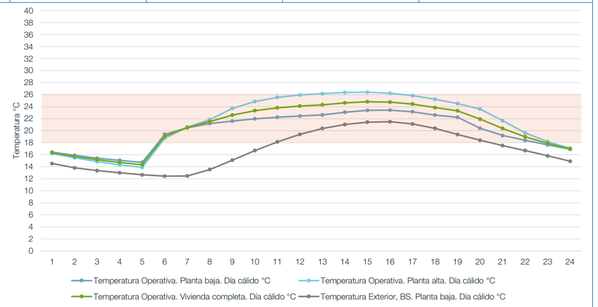
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:4 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:14 (TO) Vivienda completa:17

Anexo 58: Simulación E2_08: Vivienda LSF Medianera. Orientación Sur. 25 ACH50

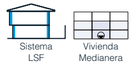
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_08	Medianera	Sur	"18,919 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,541 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,241 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,830 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"22, febrero 20,716 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

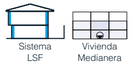


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



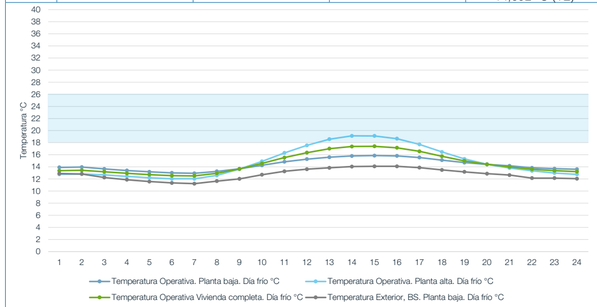


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:4 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:14 (TO) Vivienda completa:17

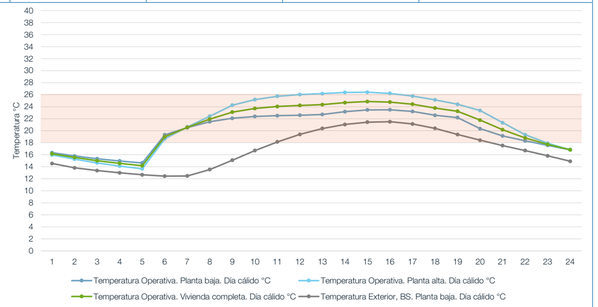
Universidad de Cuenca

Anexo 59: Simulación E2_09: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Norte. 25 ACH50

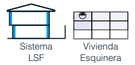
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_09	Esquinera	Norte	"18,874 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,439 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,242 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,756 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"22, febrero 20,670 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

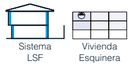


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

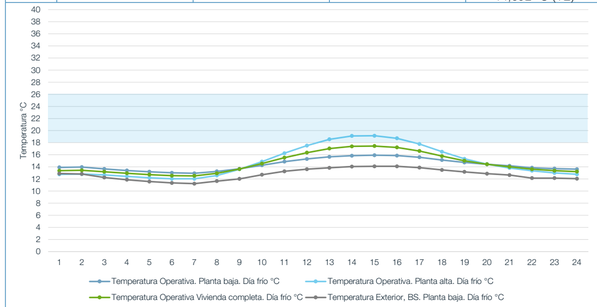




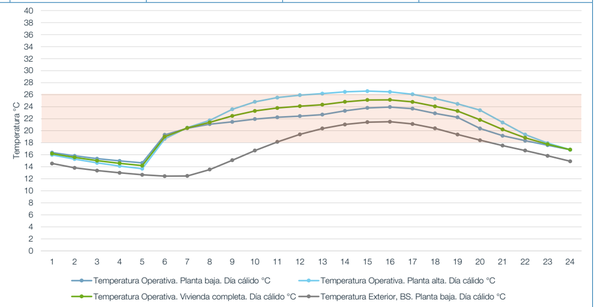
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:4 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:12 (TO) Vivienda completa:17

Anexo 60: Simulación E2_10: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Sur. 25 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_10	Esquinera	Sur	"18,460 °C (TO) 13,673 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,460 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,194 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,794 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"22, febrero 20,686 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

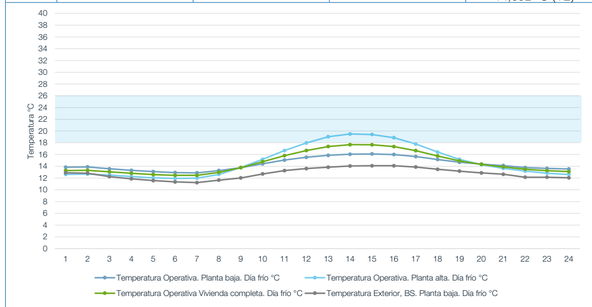


Horas Confort del día más cálido

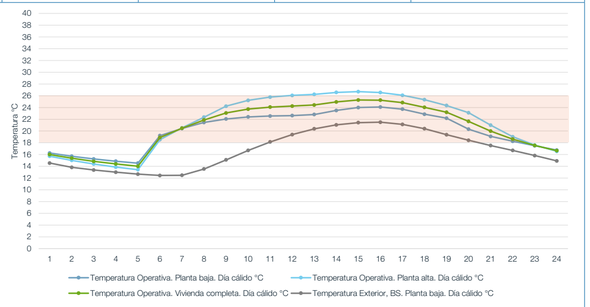
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:4 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:12 (TO) Vivienda completa:17

Anexo 61: Simulación E2_11: Vivienda LSF Aislada. Orientación Norte. 25 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_11	Aislada	Norte	"18,852 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,386 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,235 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,774 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"22, febrero 20,701 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

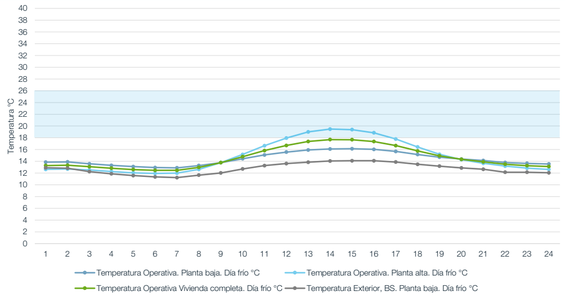


Horas Confort del día más cálido

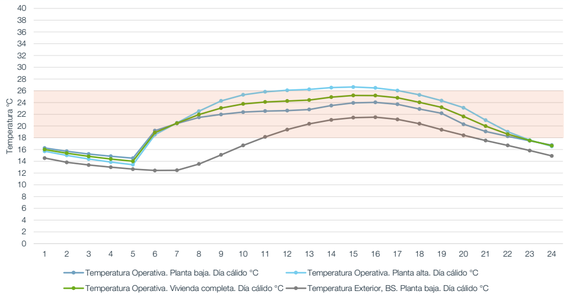
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:4 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:11 (TO) Vivienda completa:17

Anexo 62: Simulación E2_12: Vivienda LSF Aislada. Orientación Sur. 25 ACH50

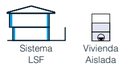
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E2_12	Aislada	Sur	"18,859 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,436 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido enero 19,196 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,800 °C (TO) 12,759 °C (TE)"	"22, febrero 20,696 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:4 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:11 (TO) Vivienda completa:17

Anexo 63: E2. Resumen de las simulaciones

No.	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
E2_01	septiembre	diciembre	17. sep	16, diciembre
E2_02	julio	diciembre	17. sep	16, diciembre
E2_03	septiembre	diciembre	30, julio	16, diciembre
E2_04	julio	diciembre	17, sep	16, diciembre
E2_05	julio	diciembre	30, julio	16, diciembre
E2_06	julio	diciembre	30, julio	16, diciembre
E2_07	julio	diciembre	30, julio	16, diciembre
E2_08	julio	enero	30, julio	22, febrero
E2_09	julio	enero	30, julio	22, febrero
E2_10	julio	enero	30, julio	22, febrero
E2_11	julio	enero	30, julio	22, febrero
E2_12	julio	enero	30, julio	22, febrero

Anexo 64: E2. Datos promedio generales

Mes predominante frío	Mes predominante cálido	Día predominante frío	Día predominante cálido
julio	diciembre	30, julio	16, diciembre

Anexo 66: E2. Datos promedio, Sistema Tradicional

Promedio de Temperaturas °C, 10 ACH					
	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Temperatura Operativa Interior (TO)	19,651	19,115	20,128	16,198	21,727
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,808	14,815	12,489	16,958

Anexo 67: E2. Datos promedio, Sistema LSF

Promedio de Temperaturas °C, 25 ACH					
	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Temperatura Operativa Interior (TO)	18,813	18,458	19,230	14,793	20,697
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,163	14,484	14,692	13,081	16,833

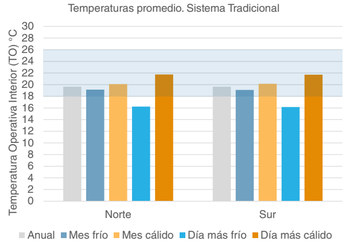
Anexo 65: Horas confort de la Etapa 02 de Simulaciones

Sistema constructivo	Tipología de vivienda	No.	Día más frío (TO)			Día más cálido (TO)		
			Planta baja	Planta alta	Todo	Planta baja	Planta alta	Todo
Sistema Tradicional	Medianera	E2_01	0	6	7	16	9	12
		E2_02	0	6	7	16	8	10
	Esquinera	E2_03	0	6	2	16	8	10
		E2_04	1	8	7	16	8	9
	Aislada	E2_05	0	6	2	16	7	9
		E2_06	0	6	3	16	7	8
Sistema LSF	Medianera	E2_07	0	4	0	17	14	17
		E2_08	0	4	0	17	14	17
	Esquinera	E2_09	0	4	0	17	12	17
		E2_10	0	4	0	17	12	17
	Aislada	E2_11	0	4	0	17	11	17
		E2_12	0	4	0	17	11	17

Anexo 68: Temperaturas promedio Etapa 02

Sistema Ladrillo. Promedio de Temperaturas °C. 10 ACH

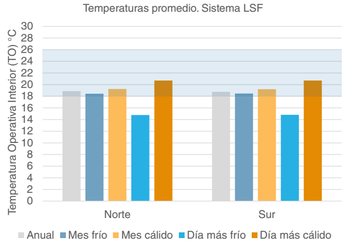
Orientación	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Norte	19,646	19,142	20,098	16,233	21,746
Sur	19,656	19,088	20,157	16,164	21,707



Anexo 69: Temperaturas promedio Etapa 02

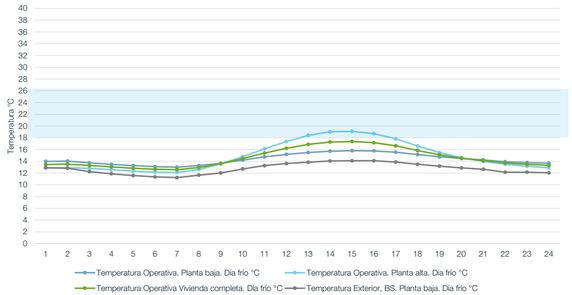
Sistema LSF. Promedio de Temperaturas °C. 10 ACH

Orientación	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Norte	18,879	18,438	19,250	14,778	20,694
Sur	18,746	18,479	19,210	14,808	20,699

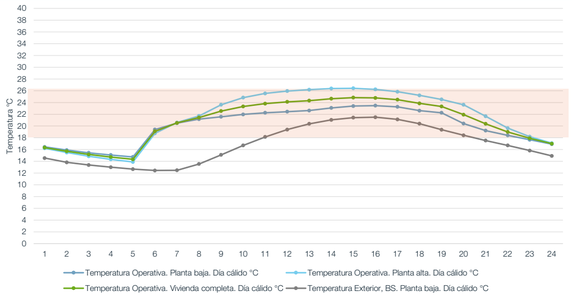


Anexo 70: Simulación A01: Aislamiento solo en paredes de cierre

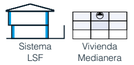
No.	Parámetros						Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"			Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido	
A01	Medianera	Norte	"18,911 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,488 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,272 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,805 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"16, diciembre 20,712 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

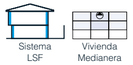


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

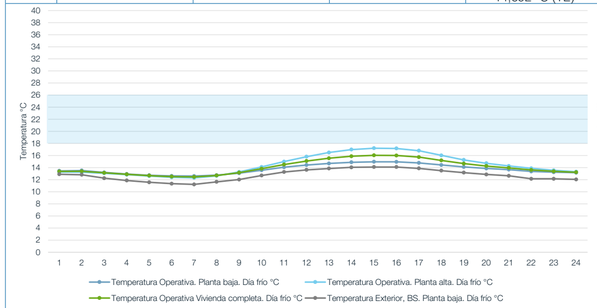




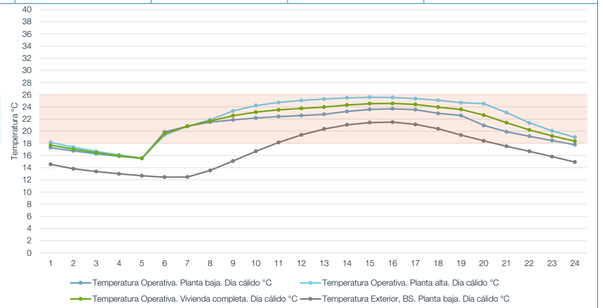
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:4 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:14 (TO) Vivienda completa:17

Anexo 71: Simulación A02: Aislamiento perimetral sin entrepiso

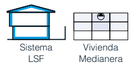
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
A02	Medianera	Norte	"18,911 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,488 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,272 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,805 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"16, diciembre 20,712 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

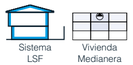


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

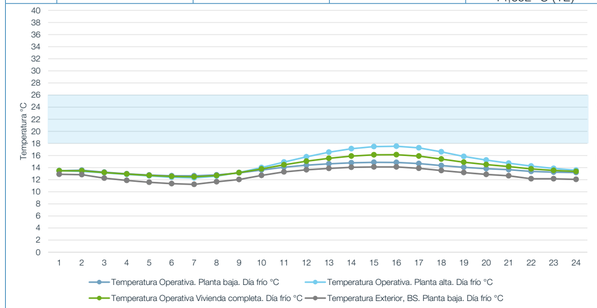




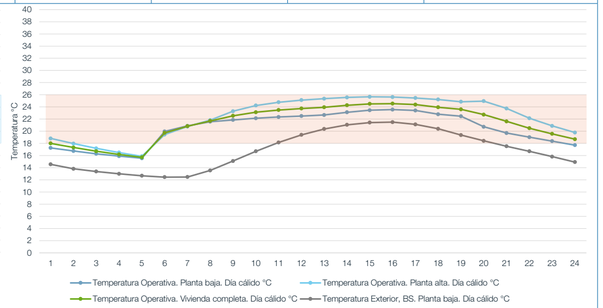
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:0 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:20 (TO) Vivienda completa:19

Anexo 72: Simulación A03: Aislamiento perimetral más entrepiso

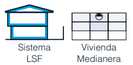
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
A03	Medianera	Norte	"18,911 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,488 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,272 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,805 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"16, diciembre 20,712 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

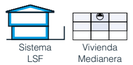


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

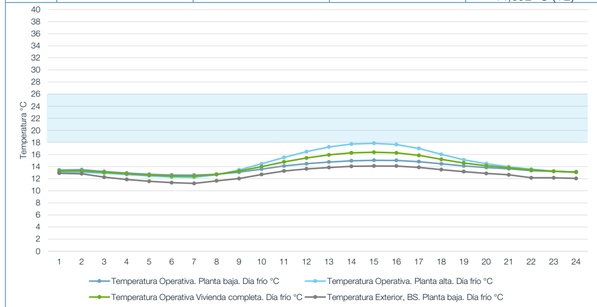




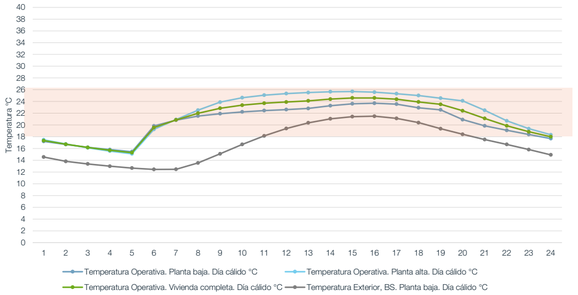
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:0 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:20 (TO) Vivienda completa:19

Anexo 73: Simulación A04: Aislamiento perimetral sin cubierta

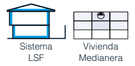
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
A04	Medianera	Norte	"18,911 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,488 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,272 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,805 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"16, diciembre 20,712 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

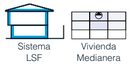


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



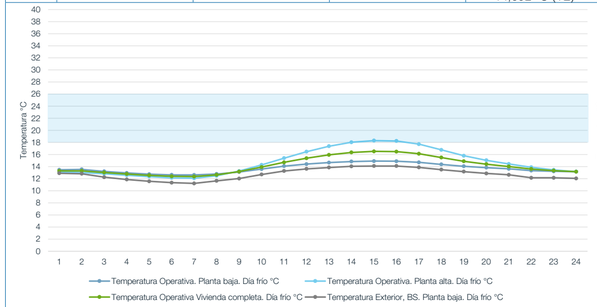


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:0 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:19 (TO) Vivienda completa:18

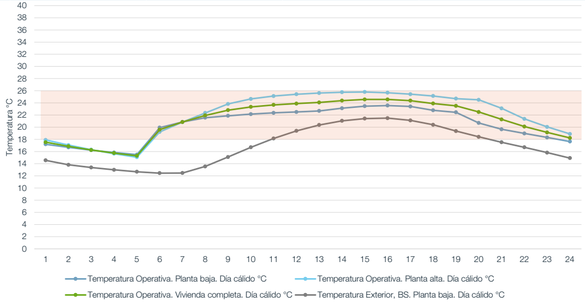
Universidad de Cuenca

Anexo 74: Simulación A05: Aislamiento perimetral sin cubierta más entrepiso

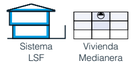
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
A05	Medianera	Norte	"18,911 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frio julio 18,488 °C (TO) 13,673 °C (TE) Mes cálido diciembre 19,272 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"30, julio 14,805 °C (TO) 14,692 °C (TE)"	"16, diciembre 20,712 °C (TO) 16,833 °C (TE)"	25	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

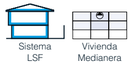


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

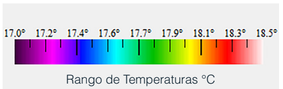


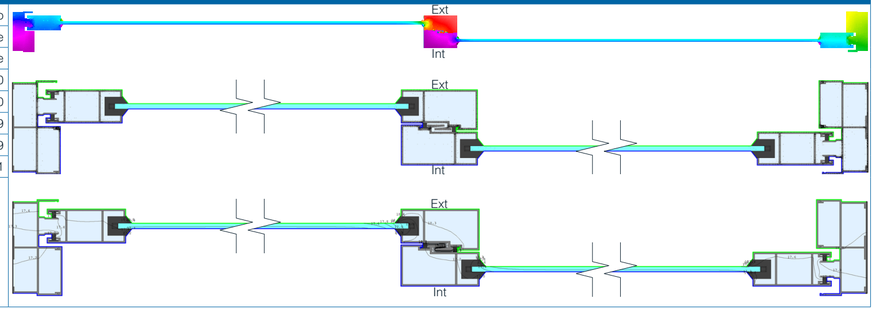


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:3 (TO) Vivienda completa:0
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:19 (TO) Vivienda completa:19

Anexo 75: C01: Ventana de Aluminio, Día caliente, Vidrio simple

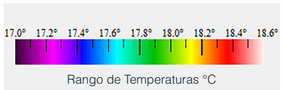
Material de carpinería	Aluminio
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0049
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	202,5169
Flujo de Calor W	54,1151

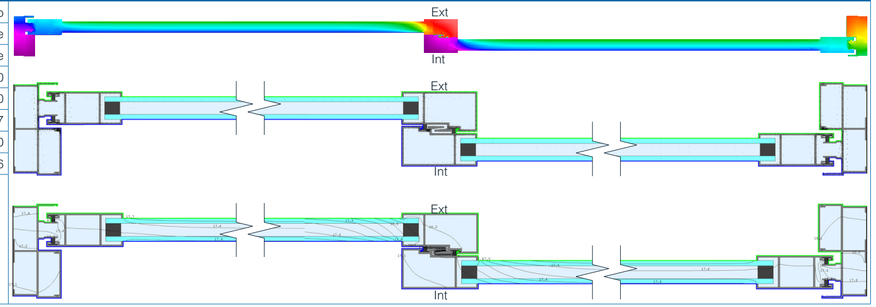




Anexo 76: C02: Ventana de Aluminio, Día caliente, Vidrio doble

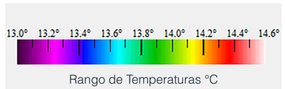
Material de carpinería	Aluminio
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio doble
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0047
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	211,1950
Flujo de Calor W	51,7496

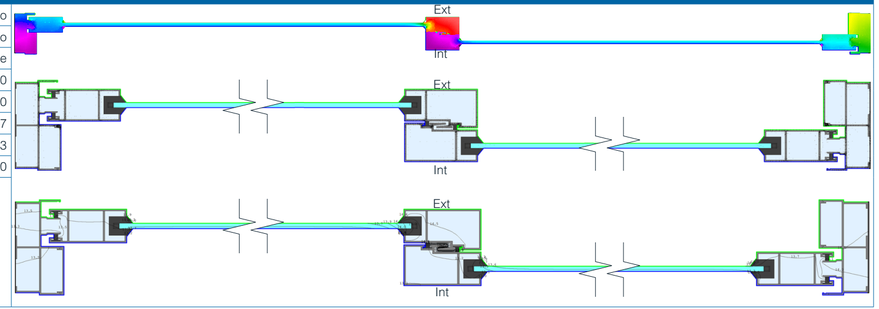




Anexo 77: C03: Ventana de Aluminio, Día frío, Vidrio simple

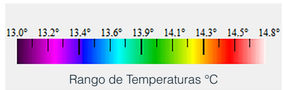
Material de carpinería	Aluminio
Condición climática	Día frío
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0047
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	211,0623
Flujo de Calor W	57,2960

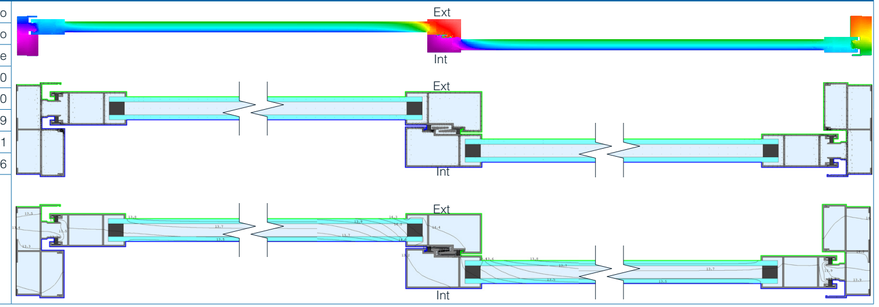




Anexo 78: C04: Ventana de Aluminio, Día frío, Vidrio doble

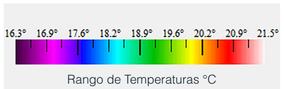
Material de carpinería	Aluminio
Condición climática	Día frío
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio doble
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0049
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	202,4961
Flujo de Calor W	59,9466

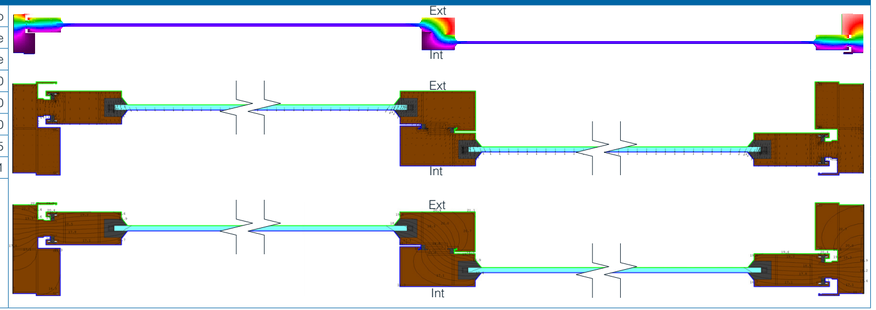




Anexo 79: C05: Ventana de Aluminio, Día caliente, Vidrio simple

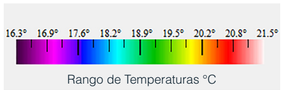
Material de carpinería	Aluminio
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0060
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	166,3135
Flujo de Calor W	44,4411

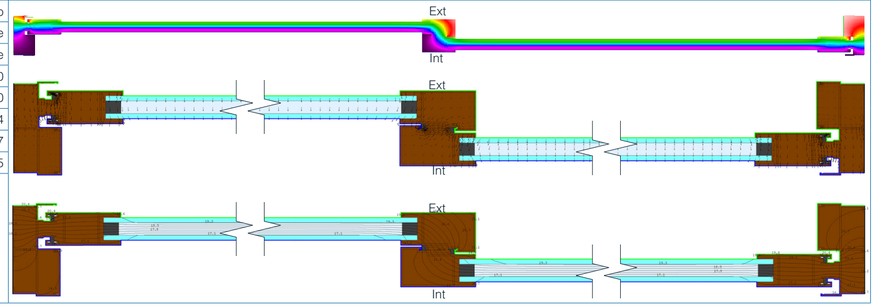




Anexo 80: C06: Ventana de Aluminio, Día caliente, Vidrio doble

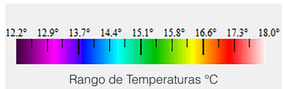
Material de carpinería	Aluminio
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio doble
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0094
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	106,2167
Flujo de Calor W	26,0265

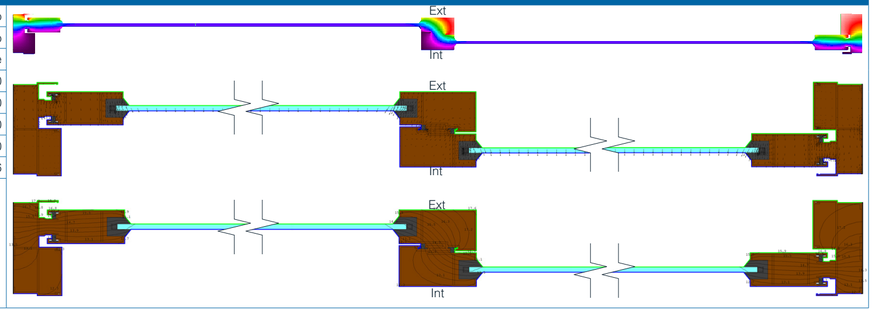




Anexo 81: C07: Ventana de Aluminio, Día frío, Vidrio simple

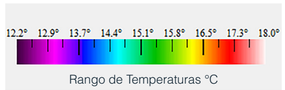
Material de carpinería	Aluminio
Condición climática	Día frío
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0060
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	166,3150
Flujo de Calor W	49,2356

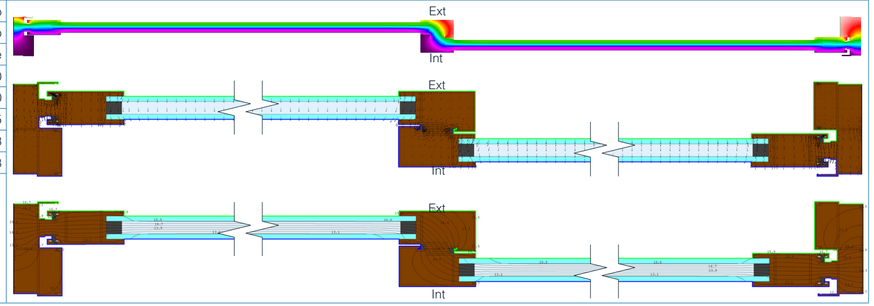




Anexo 82: C08: Ventana de Aluminio, Día frío, Vidrio doble

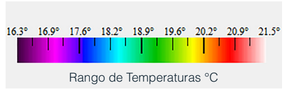
Material de carpinería	Aluminio
Condición climática	Día frío
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio doble
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0095
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	105,2063
Flujo de Calor W	28,5598

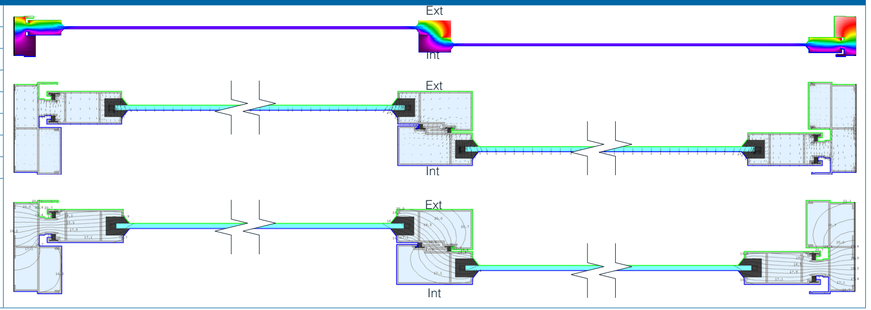




Anexo 83: C09: Ventana de PVC, Día caliente, Vidrio simple

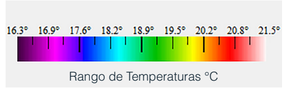
Material de carpinería	PVC
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0060
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	165,5634
Flujo de Calor W	44,2406

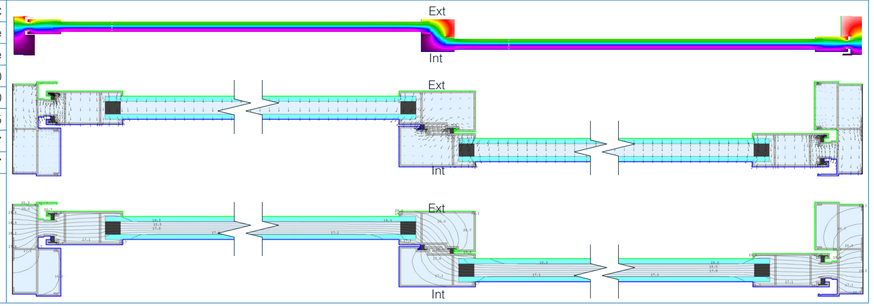




Anexo 84: C10: Ventana de PVC, Día caliente, Vidrio doble

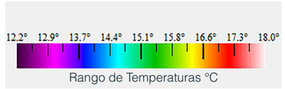
Material de carpinería	PVC
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio doble
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	16,2850
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0095
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	105,4177
Flujo de Calor W	25,8307

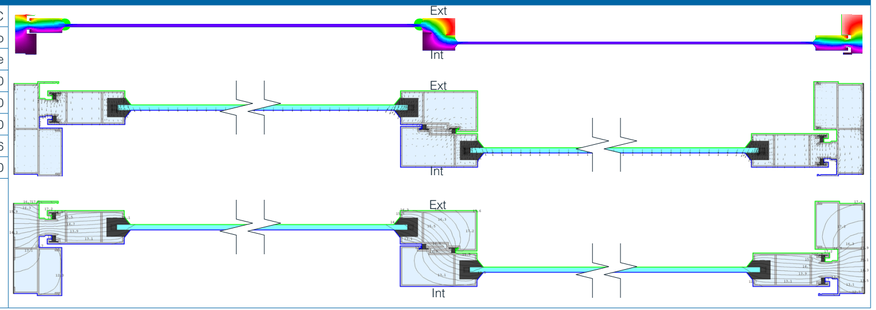




Anexo 85: C11: Ventana de PVC, Día frío, Vidrio simple

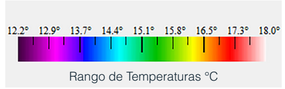
Material de carpinería	PVC
Condición climática	Día frío
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0060
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	165,4146
Flujo de Calor W	48,9690

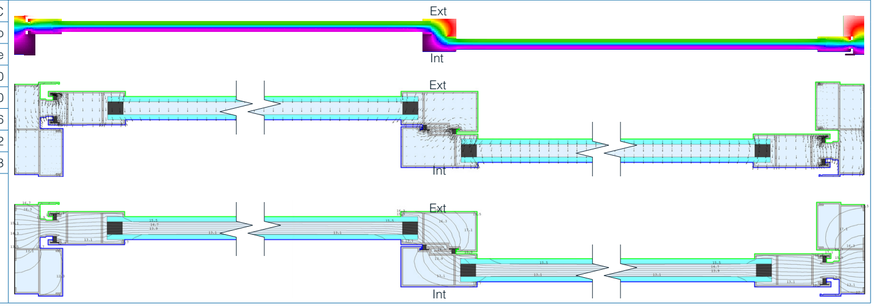




Anexo 86: C12: Ventana de PVC, Día frío, Vidrio doble

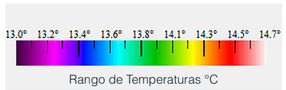
Material de carpinería	PVC
Condición climática	Día frío
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio doble
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0096
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	104,2432
Flujo de Calor W	28,2983

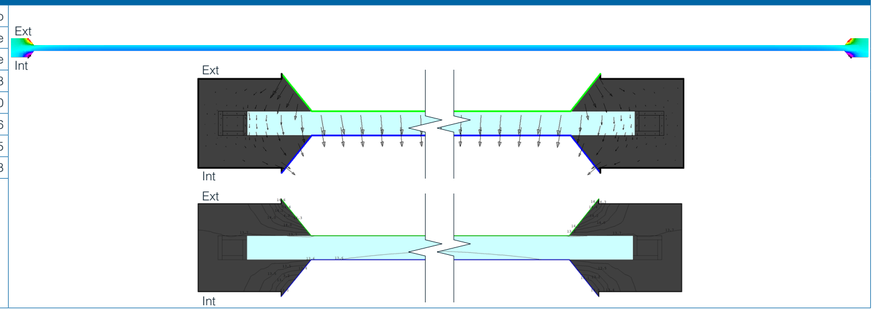




Anexo 87: C13: Día caliente, Vidrio simple

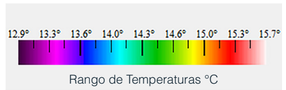
Material de carpinería	Ninguno
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0016
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	640,3695
Flujo de Calor W	22,6708

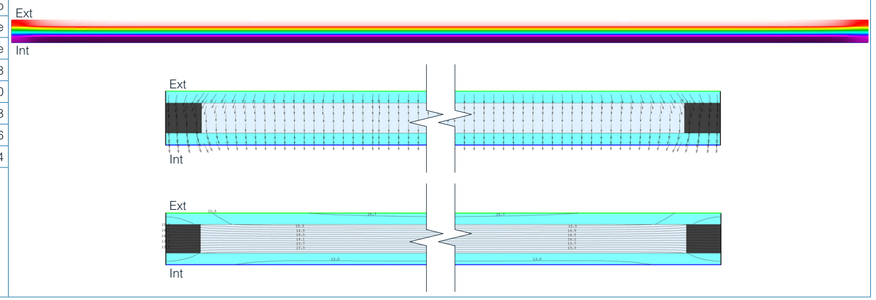




Anexo 88: C14: Día caliente, Vidrio doble

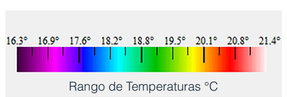
Material de carpinería	Ninguno
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Vidrio doble
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,3208
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	3,1176
Flujo de Calor W	12,6504

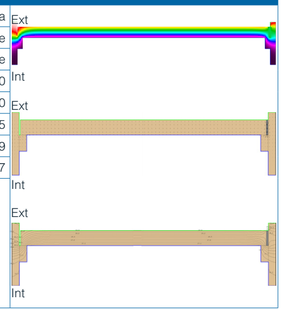




Anexo 89: C15: Puerta de Madera, Día caliente, Hoja simple

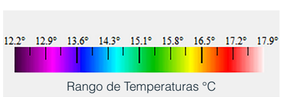
Material de carpinería	Madera
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Hoja simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0445
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	22,4599
Flujo de Calor W	11,3457

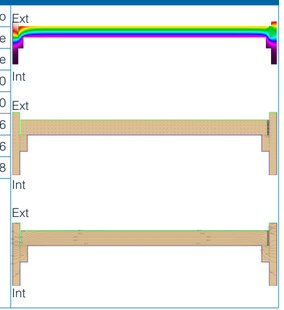




Anexo 90: C17: Puerta de Acero, Día caliente, Hoja simple

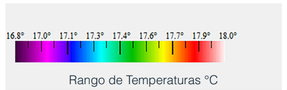
Material de carpinería	Acero
Condición climática	Día caliente
Configuración de los paneles de vidrio	Hoja simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	21,5040
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0086
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	116,3256
Flujo de Calor W	33,0538

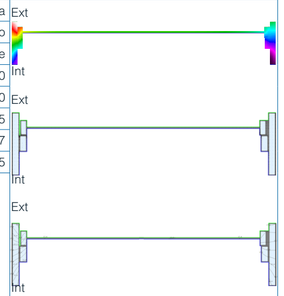




Anexo 92: C16: Puerta de Madera, Día frío, Hoja simple

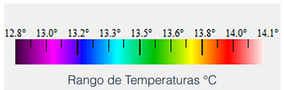
Material de carpinería	Madera
Condición climática	Día frío
Configuración de los paneles de vidrio	Hoja simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0445
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	22,4597
Flujo de Calor W	12,5695

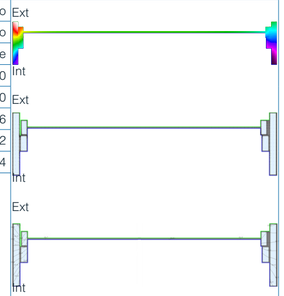




Anexo 91: C18: Puerta de Acero, Día frío, Hoja simple

Material de carpinería	Acero
Condición climática	Día frío
Configuración de los paneles de vidrio	Hoja simple
Temperatura Operativa Interior (TO) °C	18,0000
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	12,2180
Resistencia Térmica R=m2K/W	0,0086
Transmitancia Térmica U=1/R=W/m2K	116,3252
Flujo de Calor W	36,6194



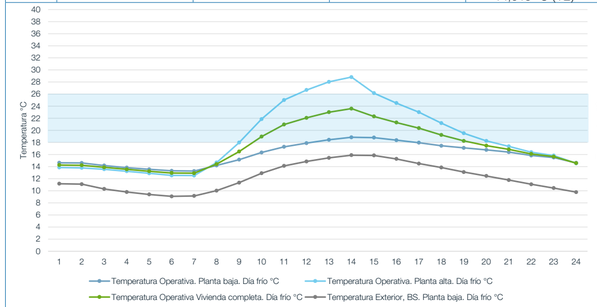


Anexo 93: Resultados de simulaciones de carpinterías

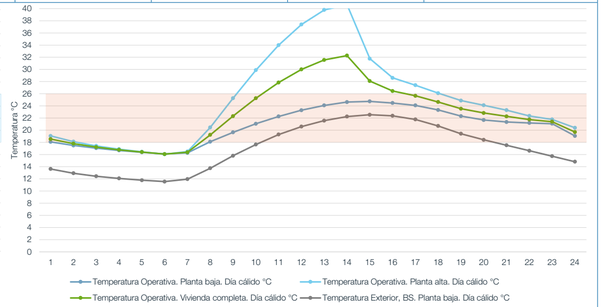
No.	Tipo de carpintería	Material de carpinería	Condición climática	Configuración de los paneles de vidrio	Tipo de Temperatura Promedio		Resistencia Térmica	Transmitancia Térmica	Flujo de Calor
					Temperatura Operativa Interior (TO) °C	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE) °C	R m²K/W	U=1/R W/m²k	W
C01	Ventana	Aluminio	Día caliente	Vidrio simple	21,504	16,285	0,0049	202,5169	54,1151
C02				Vidrio doble	21,504	16,285	0,0047	211,1950	51,7496
C03			Día frío	Vidrio simple	18,000	12,218	0,0047	211,0623	57,2960
C04				Vidrio doble	18,000	12,218	0,0049	202,4961	59,9466
C05	Ventana	Madera	Día caliente	Vidrio simple	21,504	16,285	0,0060	166,3135	44,4411
C06				Vidrio doble	21,504	16,285	0,0094	106,2167	26,0265
C07			Día frío	Vidrio simple	18,000	12,218	0,0060	166,3150	49,2356
C08				Vidrio doble	18,000	12,218	0,0095	105,2063	28,5598
C09	Ventana	PVC	Día caliente	Vidrio simple	21,504	16,285	0,0060	165,5634	44,2406
C10				Vidrio doble	21,504	16,285	0,0095	105,4177	25,8307
C11			Día frío	Vidrio simple	18,000	12,218	0,0060	165,4146	48,9690
C12				Vidrio doble	18,000	12,218	0,0096	104,2432	28,2983
C13	Ventana	Vidrio	Indiferente	Vidrio simple	18,000	12,218	0,0016	640,3695	22,6708
C14				Vidrio doble	18,000	12,218	0,3208	3,1176	12,6504
C15	Puerta	Madera	Día caliente	Hoja simple	21,504	12,218	0,0445	22,4599	11,3457
C16			Día frío	Hoja simple	18,000	12,218	0,0445	22,4597	12,5695
C17	Puerta	Metal	Día caliente	Hoja simple	21,504	12,218	0,0086	116,3256	33,0538
C18			Día frío	Hoja simple	18,000	12,218	0,0086	116,3252	36,6194

Anexo 94: Simulación E3_01: Vivienda Tradicional Medianera. Orientación Sur. 10 ACH50

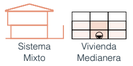
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_01	Medianera	Sur	"19,619 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,459 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,491 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,867 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"16/Diciembre 22,286 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

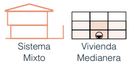


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

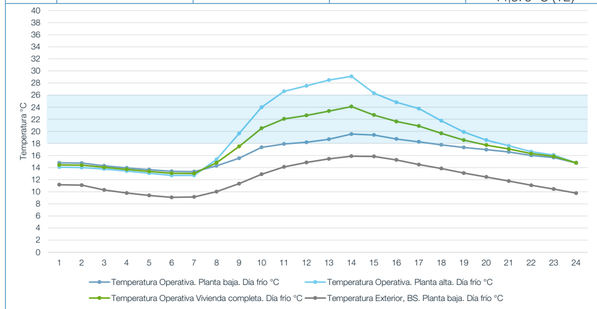




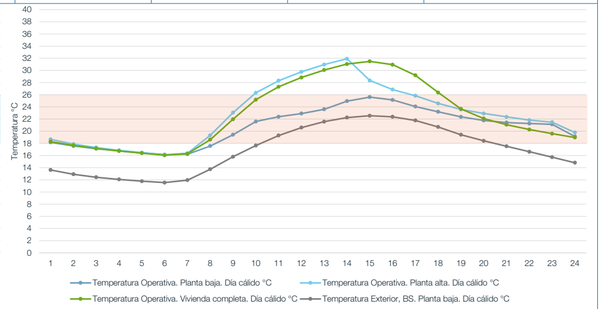
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:4 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:10
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:10 (TO) Vivienda completa:12

Anexo 95: Simulación E3_02: Vivienda Tradicional Medianera. Orientación Este. 10 ACH50

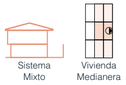
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_02	Medianera	Este	"19,955 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,804 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Marzo 20,71 °C (TO) 14,373 °C (TE)"	"26/Julio 15,886 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"11/Abril 22,98 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



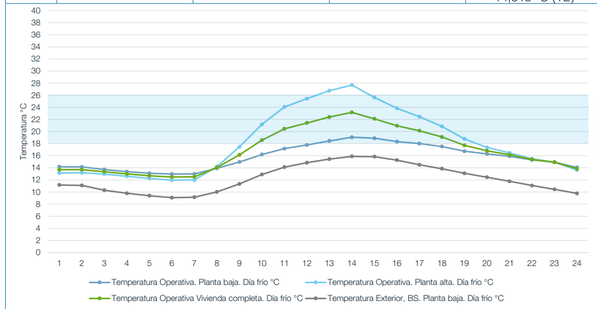
Horas Confort del día más cálido



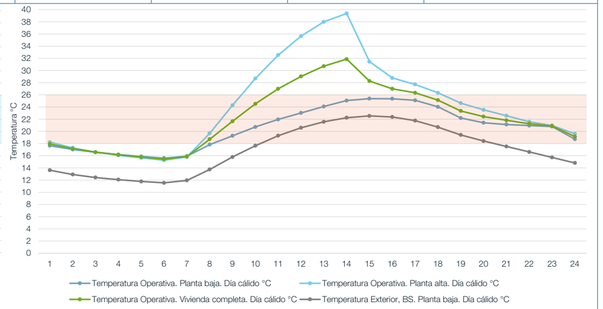
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:6 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:10
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:11 (TO) Vivienda completa:10

Anexo 96: Simulación E3_03: Vivienda Tradicional Esquinera. Orientación Sur. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_03	Esquinera	Sur	"19,24 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,048 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,118 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,383 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"16/Diciembre 21,926 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

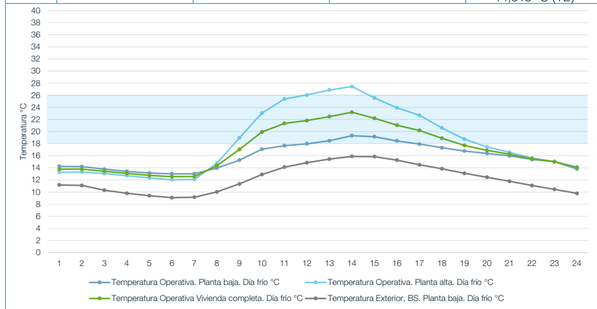


Horas Confort del día más cálido

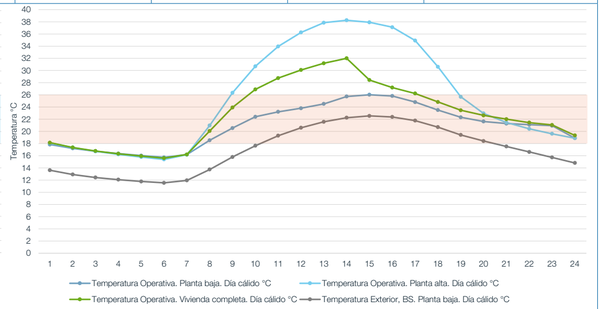
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:5 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:9
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:16 (TO) Planta alta:9 (TO) Vivienda completa:10

Anexo 97: Simulación E3_04: Vivienda Tradicional Esquinera. Orientación Este. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_04	Esquinera	Este	"19,454 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,157 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,424 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,37 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"16/Diciembre 22,385 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

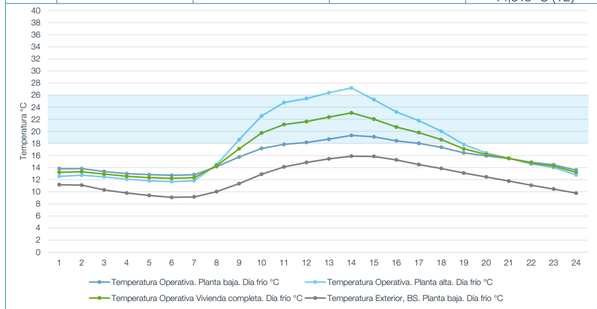


Horas Confort del día más cálido

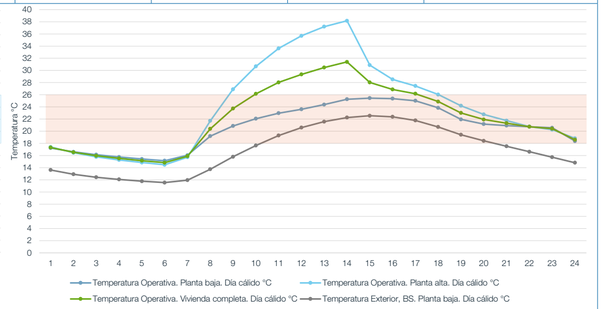
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:4 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:9
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:16 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:10

Anexo 98: Simulación E3_05: Vivienda Tradicional Aislada. Orientación Sur. 10 ACH50

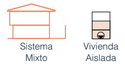
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_05	Aislada	Sur	"19,148 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 17,895 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,05 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,023 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"11/Abril 21,752 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

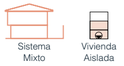


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

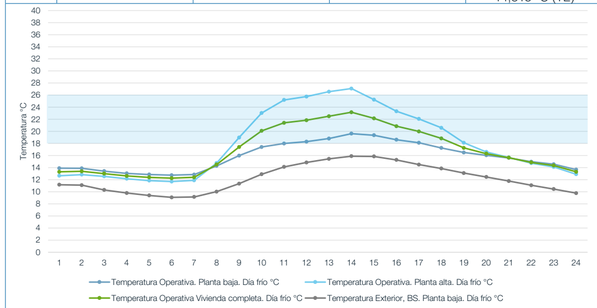




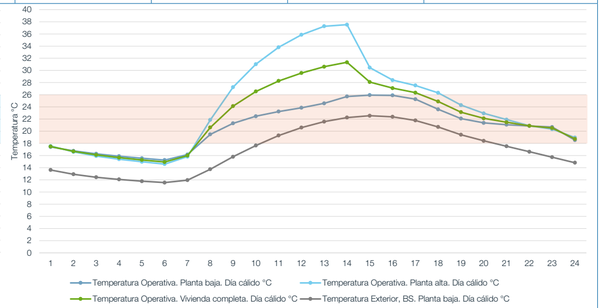
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:6 (TO) Planta alta:8 (TO) Vivienda completa:9
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:9

Anexo 99: Simulación E3_06: Vivienda Tradicional Aislada. Orientación Este. 10 ACH50

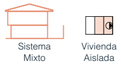
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	Tradicional	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_06	Aislada	Este	"19,348 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,136 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,153 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,047 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"11/Abril 22,356 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

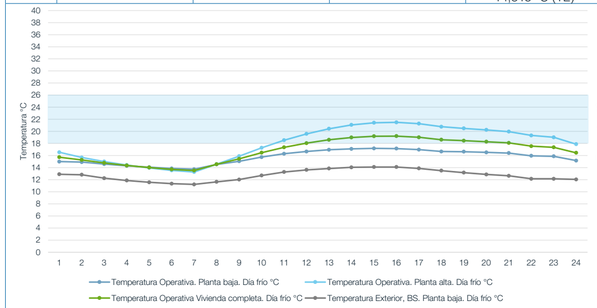


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:6 (TO) Planta alta:9 (TO) Vivienda completa:9
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:7 (TO) Vivienda completa:9

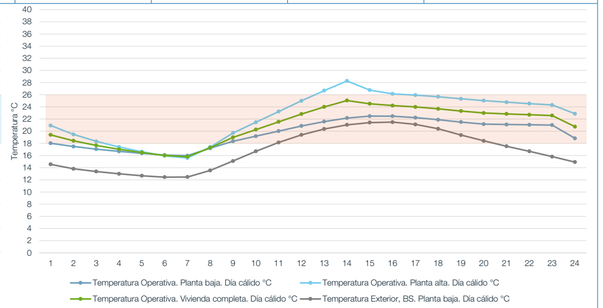
Universidad de Cuenca

Anexo 100: Simulación E3_07: Vivienda LSF Medianera. Orientación Sur. 10 ACH50

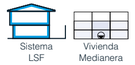
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_07	Medianera	Sur	"19,042 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,067 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 19,806 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,845 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"16/Diciembre 21,106 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

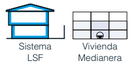


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

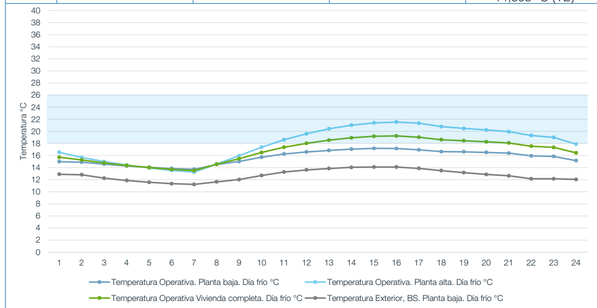




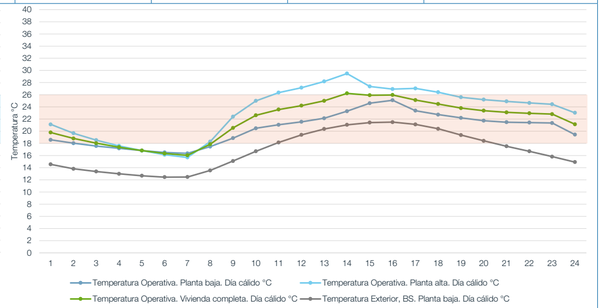
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:13 (TO) Vivienda completa:10
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:15 (TO) Vivienda completa:18

Anexo 101: Simulación E3_08: Vivienda LSF Medianera. Orientación Este. 10 ACH50

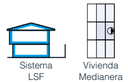
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_08	Medianera	Este	"19,346 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,319 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Octubre 20,036 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"26/Julio 15,829 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"11/Abril 21,511 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

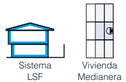


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



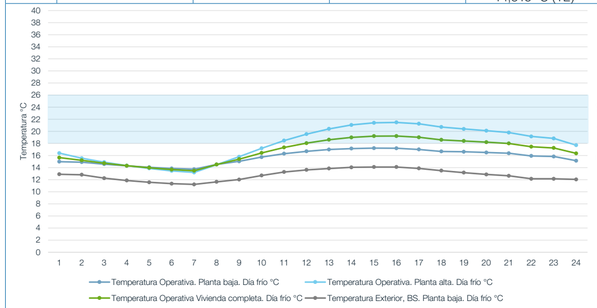


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:13 (TO) Vivienda completa:10
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:12 (TO) Vivienda completa:18

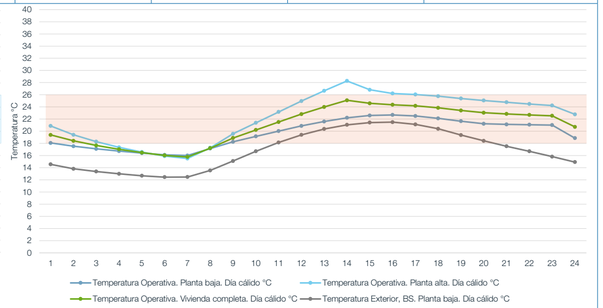
Universidad de Cuenca

Anexo 102: Simulación E3_09: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Sur. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_09	Esquinera	Sur	"19,027 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,051 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 19,796 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,798 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"16/Diciembre 21,093 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

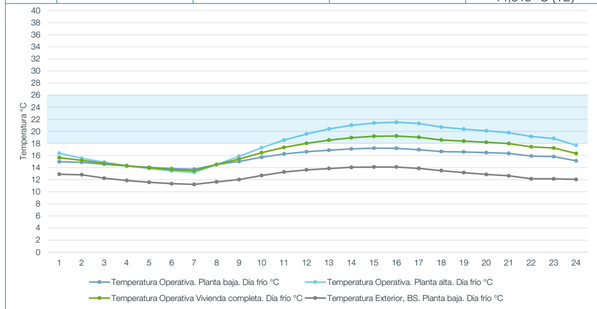


Horas Confort del día más cálido

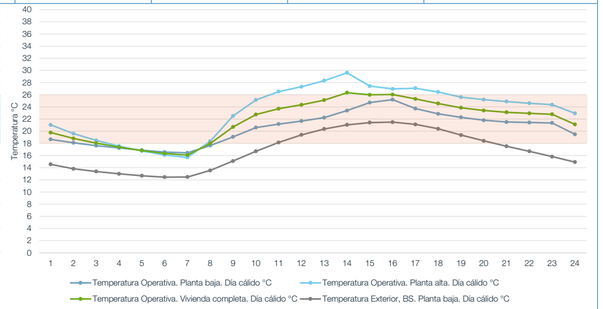
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:13 (TO) Vivienda completa:9
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:14 (TO) Vivienda completa:18

Anexo 103: Simulación E3_10: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Este. 10 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_10	Esquinera	Este	"19,338 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Junio 18,259 °C (TO) 13,497 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,099 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,777 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"16/Diciembre 21,531 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

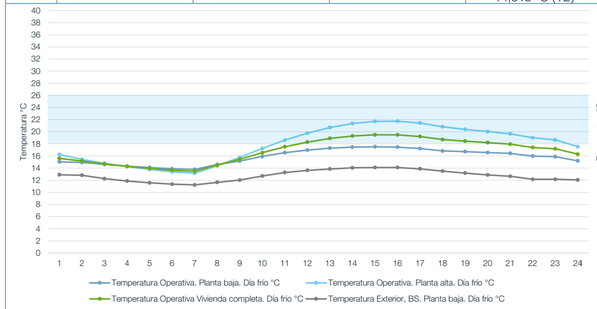


Horas Confort del día más cálido

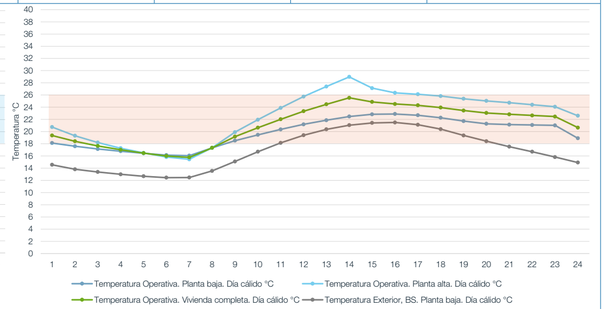
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:13 (TO) Vivienda completa:9
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:18 (TO) Planta alta:12 (TO) Vivienda completa:17

Anexo 104: Simulación E3_11: Vivienda LSF Aislada. Orientación Sur. 10 ACH50

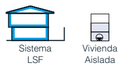
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_11	Aislada	Sur	"19,115 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,147 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 19,887 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 15,832 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"16/Diciembre 21,148 °C (TO) 16,958 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



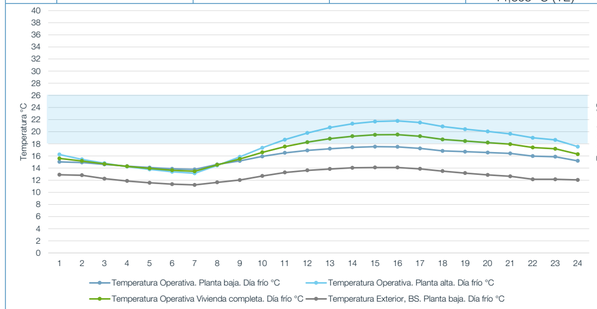
Horas Confort del día más cálido



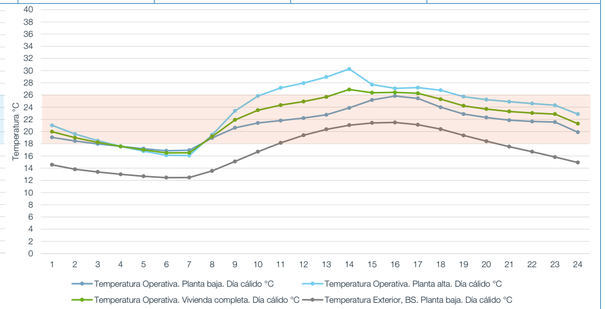
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:13 (TO) Vivienda completa:9
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:17 (TO) Planta alta:14 (TO) Vivienda completa:18

Anexo 105: Simulación E3_12: Vivienda LSF Aislada. Orientación Sur. 10 ACH50

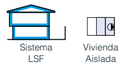
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E3_12	Aislada	Sur	"19,685 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,652 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Octubre 20,426 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"26/Julio 15,851 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"11/Abril 22,004 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	10	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:13 (TO) Vivienda completa:9
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:19 (TO) Planta alta:12 (TO) Vivienda completa:16

Anexo 106: E3. Resumen de simulaciones

No.	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
E3_01	julio	diciembre	17. septiembre	16, diciembre
E3_02	julio	octubre	30, Julio	26, Febrero
E3_03	julio	diciembre	17, Septiembre	16, Diciembre
E3_04	julio	diciembre	10, Junio	16, Diciembre
E3_05	julio	diciembre	30, Julio	16, Diciembre
E3_06	julio	diciembre	30, julio	16, diciembre
E3_07	septiem	mayo	17, Septiembre	22, Febrero
E3_08	julio	octubre	17, Septiembre	11, Octubre
E3_09	septiem	diciembre	17, Septiembre	22, Febrero
E3_10	julio	diciembre	16, Julio	11, Octubre
E3_11	septiem	diciembre	17, Septiembre	22, Febrero
E3_12	julio	octubre	17, Septiembre	11, Abril

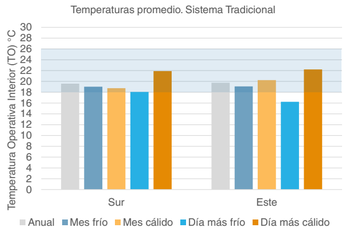
Anexo 107: E3. Datos promedio generales

Mes predominante frío	Mes predominante cálido	Día predominante frío	Día predominante cálido
julio	diciembre	17, sept	16, diciembre

Anexo 110: Temperaturas promedio Etapa 03

Sistema Ladrillo. Promedio de Temperaturas °C. 10 ACH

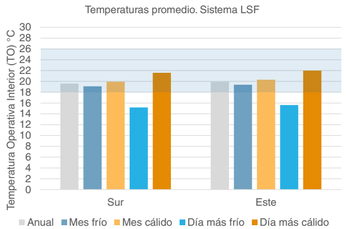
Orientación	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Sur	19,587	19,020	18,756	18,048	21,911
Este	19,763	19,086	20,241	16,240	22,206



Anexo 111: Temperaturas promedio Etapa 03

Sistema LSF. Promedio de Temperaturas °C. 10 ACH

Orientación	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Sur	19,598	19,094	19,940	15,179	21,602
Este	19,956	19,397	20,326	15,634	22,000



Anexo 108: E3. Datos promedio, Sistema Tradicional

Promedio de Temperaturas °C, 10 ACH

	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Temperatura Operativa Interior (TO)	19,675	19,053	19,498	17,144	22,059
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,813	12,506	16,617

Anexo 109: E3. Datos promedio, Sistema LSF

Promedio de Temperaturas °C, 25 ACH

	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Temperatura Operativa Interior (TO)	19,777	19,245	20,133	15,407	21,801
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,971	14,739	12,192	16,783

Anexo 112: E3. Promedio de temperaturas por orientación, Sistema Tradicional

Promedio de Temperaturas °C, 10 ACH						
Orientación	**Temperatura**	**Anual**	**Mes frío**	**Mes cálido**	**Día más frío**	**Día más cálido**
Sur	Temperatura Operativa Interior (TO)	19,587	19,020	18,756	18,048	21,911
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,815	12,398	16,958
Este	Temperatura Operativa Interior (TO)	19,763	19,086	20,241	16,240	22,206
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,673	14,812	12,613	16,275

Anexo 113: E3. Promedio de temperaturas por orientación, Sistema LSF

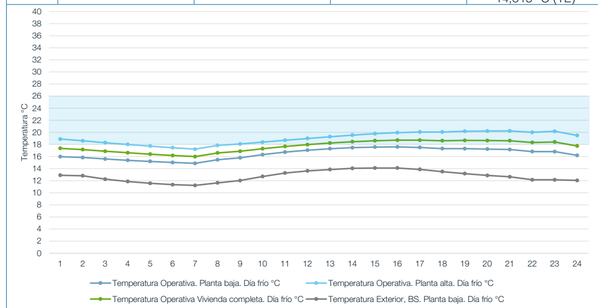
Promedio de Temperaturas °C, 10 ACH						
Orientación		**Anual**	**Mes frío**	**Mes cálido**	**Día más frío**	**Día más cálido**
Sur	Temperatura Operativa Interior (TO)	19,598	19,094	19,940	15,179	21,602
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,892	14,669	12,218	16,833
Este	Temperatura Operativa Interior (TO)	19,956	19,397	20,326	15,634	22,000
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	14,050	14,808	12,166	16,732

Anexo 114: Horas confort de la Etapa 03 de Simulaciones

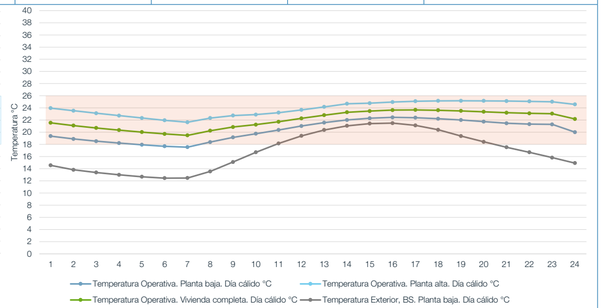
Sistema constructivo	Tipología de vivienda	No.	Día más frío (TO)			Día más cálido (TO)		
			Planta baja	Planta alta	Todo	Planta baja	Planta alta	Todo
"Sistema Tradicional 10 ACH50"	Medianera	E3_01	0	6	7	16	8	10
		E3_02	2	6	9	16	9	10
	Esquinera	E3_03	0	8	7	16	8	10
		E3_04	2	8	8	16	8	9
	Aislada	E3_05	2	9	8	16	7	8
		E3_06	2	9	8	16	8	8
"Sistema LSF 10 ACH50"	Medianera	E3_07	0	0	0	20	21	21
		E3_08	0	0	0	20	21	21
	Esquinera	E3_09	0	0	0	20	21	21
		E3_10	0	0	0	21	19	21
	Aislada	E3_11	0	2	0	20	21	21
		E3_12	0	2	0	22	18	19

Anexo 115: Simulación E4_01: Vivienda LSF Medianera. Orientación Sur. 7 ACH50

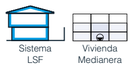
No.	Parámetros						Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"			Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido	
E4_01	Medianera	Sur	"20,047 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 19,011 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,831 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"44038 17,392 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"44182 21,942 °C (TO) 15,518 °C (TE)"	7	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



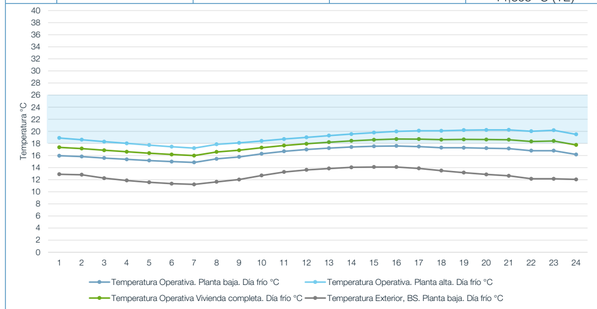
Horas Confort del día más cálido



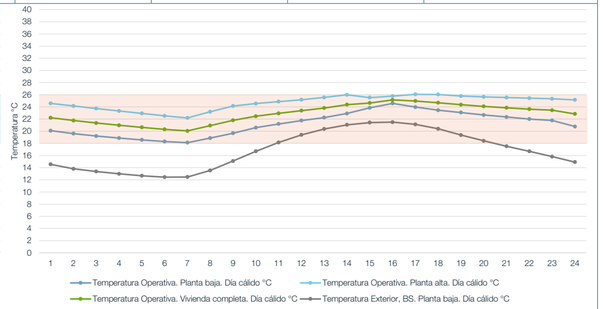
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:20 (TO) Vivienda completa:11
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:21 (TO) Planta alta:24 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 116: Simulación E4_02: Vivienda LSF Medianera. Orientación Este. 7 ACH50

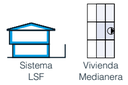
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E4_02	Medianera	Este	"20,515 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 19,438 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Octubre 21,205 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"26/Julio 17,411 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"11/Abril 22,417 °C (TO) 16,285 °C (TE)"	7	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

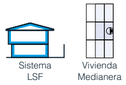


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido



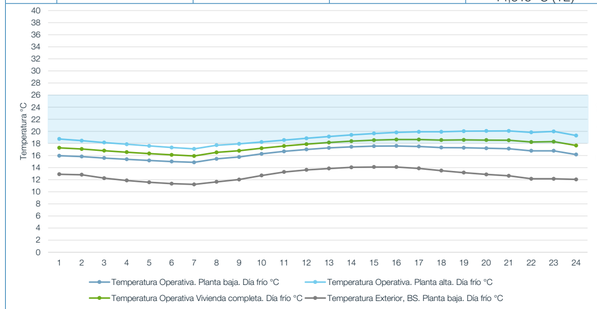


Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:20 (TO) Vivienda completa:11
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:24 (TO) Planta alta:22 (TO) Vivienda completa:24

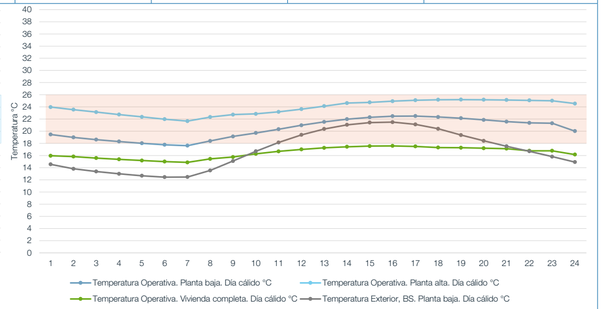
Universidad de Cuenca

Anexo 117: Simulación E4_03: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Sur. 7 ACH50

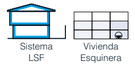
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E4_03	Esquinera	Sur	"20,023 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 18,972 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,821 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 17,322 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"17/Diciembre 21,946 °C (TO) 15,518 °C (TE)"	7	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"

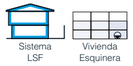


Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

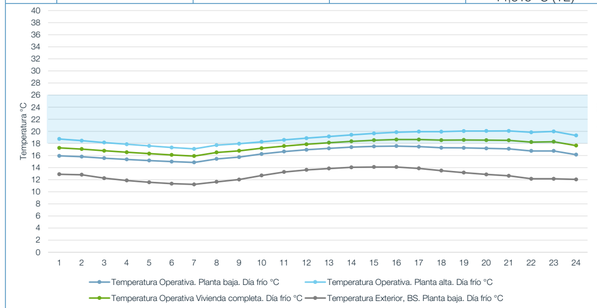




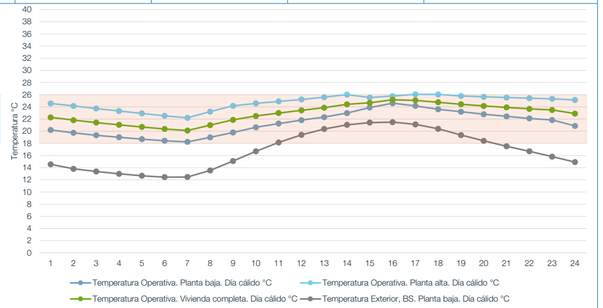
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:18 (TO) Vivienda completa:11
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:24 (TO) Vivienda completa:0

Anexo 118: Simulación E4_04: Vivienda LSF Esquinera. Orientación Este. 7 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E4_04	Esquinera	Este	"20,485 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 19,345 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 21,236 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 17,332 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"20/Noviembre 22,481 °C (TO) 16,101 °C (TE)"	7	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío

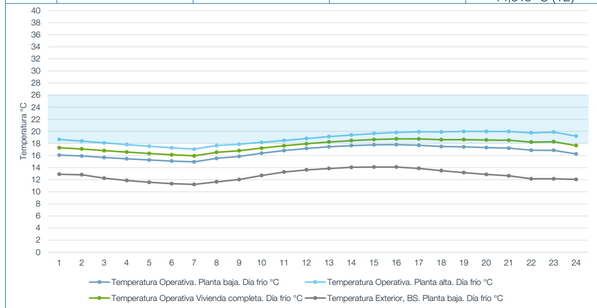


Horas Confort del día más cálido

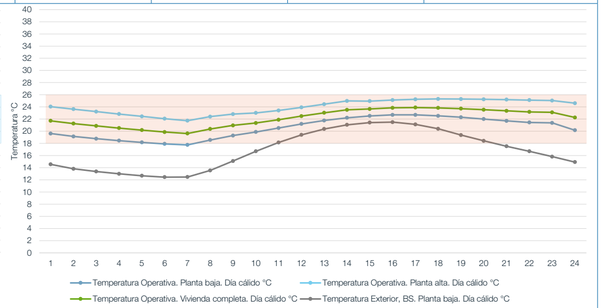
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:18 (TO) Vivienda completa:11
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:24 (TO) Planta alta:21 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 119: Simulación E4_05: Vivienda LSF Aislada. Orientación Sur. 7 ACH50

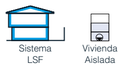
No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E4_05	Aislada	Sur	"20,124 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 19,074 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Diciembre 20,933 °C (TO) 14,815 °C (TE)"	"26/Julio 17,37 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"17/Diciembre 22,079 °C (TO) 15,518 °C (TE)"	7	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



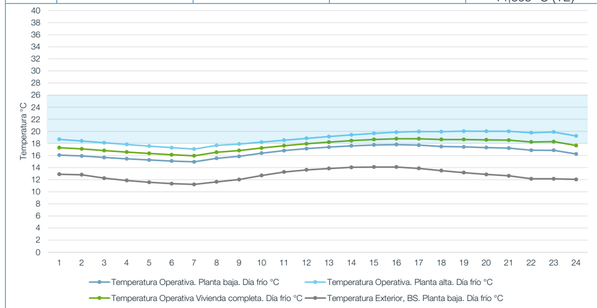
Horas Confort del día más cálido



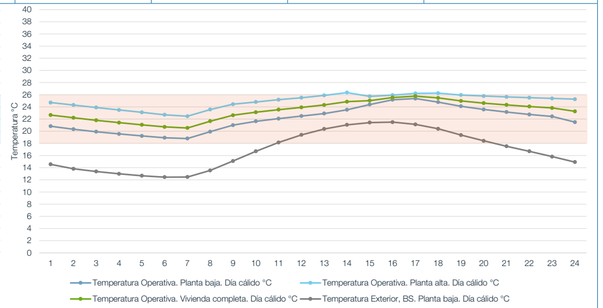
Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:18 (TO) Vivienda completa:11
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:22 (TO) Planta alta:24 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 120: Simulación E4_06: Vivienda LSF Aislada. Orientación Este. 7 ACH50

No.	Parámetros							Observaciones
	Tipología de vivienda	Implantación	"Condiciones metereológicas Zona Climática 3 - Continental Lluviosa Temperatura Operativa Interior (TO), Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)"				Infiltraciones ACH50	
	LSF	Orientación	Anual	Mensual	Día más frío	Día más cálido		
E4_06	Aislada	Este	"20,887 °C (TO) 14,261 °C (TE)"	"Mes frío Agosto 19,804 °C (TO) 13,701 °C (TE) Mes cálido Octubre 21,618 °C (TO) 14,805 °C (TE)"	"26/Julio 17,483 °C (TO) 11,755 °C (TE)"	"20/Noviembre 22,921 °C (TO) 16,101 °C (TE)"	7	"Rango de Confort NEC Tempereatura Operativa (TO) 18 °C - 26 °C"



Horas Confort del día más frío



Horas Confort del día más cálido

Resultados Horas Confort del día más frío:	(TO) Planta baja:0 (TO) Planta alta:18 (TO) Vivienda completa:11
Resultados Horas Confort del día más cálido:	(TO) Planta baja:24 (TO) Planta alta:21 (TO) Vivienda completa:24

Anexo 121: E4. Resumen de simulaciones

No.	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
E4_01	septiembre	diciembre	17. septiembre	5, Mayo
E4_02	julio	octubre	16, julio	11, octubre
E4_03	septiembre	diciembre	17, Septiembre	5, Mayo
E4_04	septiembre	diciembre	17, septiembre	5, Mayo
E4_05	julio	diciembre	16, Julio	23, Febrero
E4_06	julio	octubre	17, Septiembre	11, Abril

Anexo 122: E4. Datos promedio generales

Mes predominante frío	Mes predominante cálido	Día predominante frío	Día predominante cálido
julio	diciembre	17. septiembr	5, mayo

Anexo 123: E4. Datos promedio, Sistema LSF

Promedio de Temperaturas °C, 10 ACH					
	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Temperatura Operativa Interior (TO)	21,036	20,524	21,408	16,497	22,978
Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	14,876	14,812	12,166	16,001

Anexo 124: E4. Promedio de temperaturas por orientación, Sistema LSF Optimizado a 7 ACH50

Promedio de Temperaturas °C, 7 ACH						
Orientación	Temperatura	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Sur	Temperatura Operativa Interior (TO)	20,940	20,442	21,326	16,436	22,874
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	16,006	14,815	12,166	15,684
Este	Temperatura Operativa Interior (TO)	21,131	20,607	21,490	16,558	23,081
	Temperatura Exterior, Bulbo Seco (TE)	14,261	13,746	14,808	12,166	16,319

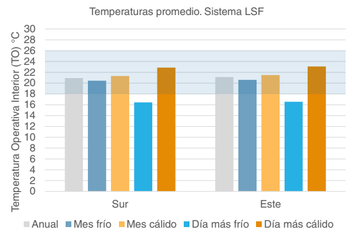
Anexo 125: Horas confort de la Etapa 04 de Simulaciones

Sistema constructivo	Tipología de vivienda	No.	Día más frío (TO)			Día más cálido (TO)		
			Planta baja	Planta alta	Todo	Planta baja	Planta alta	Todo
"Sistema LSF Optimizado a 7 ACH50"	Medianera	E4_01	0	0	0	24	24	24
		E4_02	0	0	0	24	23	24
	Esquinera	E4_03	0	0	0	24	24	24
		E4_04	0	0	0	24	23	24
	Aislada	E4_05	0	0	0	24	24	24
		E4_06	0	0	0	24	22	24

Anexo 128: Temperaturas promedio Etapa 04

Sistema LSF. Promedio de Temperaturas °C. 7 ACH

Orientación	Anual	Mes frío	Mes cálido	Día más frío	Día más cálido
Sur	20,940	20,442	21,326	16,436	22,874
Este	21,131	20,607	21,490	16,558	23,081



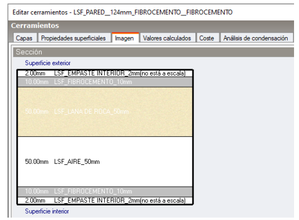
Anexo 126: Valores confort, ambos sistemas, Etapa 03

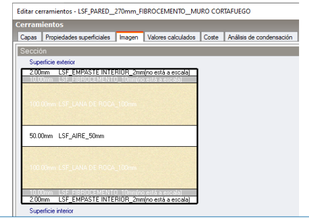
No.	Sistema constructivo	Tipología de vivienda	Orientación	Resultados en base a la Temperatura Operativa Interior (TO) °C						Infiltraciones
				1 año = 12 meses = 365 días = 8760 horas						
				Meses confort anuales		Días confort anuales		Horas confort anuales		
				Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	
				12	100%	365	100%	8760	100%	
E3_01	Sistema Tradicional	Medianera	Sur	12	100%	339	93%	5206	59%	10 ACH50
E3_02			Este	12	100%	347	95%	4643	53%	
E3_03		Esquinera	Sur	12	100%	327	90%	4927	56%	
E3_04			Este	12	100%	331	91%	4975	57%	
E3_05		Aislada	Sur	12	100%	325	89%	4796	55%	
E3_06			Este	12	100%	328	90%	4784	55%	
E3_07	Sistema LSF	Medianera	Sur	12	100%	287	79%	5605	64%	10 ACH50
E3_08			Este	12	100%	316	87%	5764	66%	
E3_09		Esquinera	Sur	12	100%	289	79%	5610	64%	
E3_10			Este	12	100%	316	87%	5765	66%	
E3_11		Aislada	Sur	12	100%	298	82%	5659	65%	
E3_12			Este	12	100%	329	90%	5858	67%	

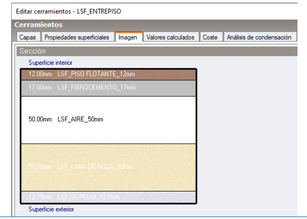
Anexo 127: Valores confort, Sistema LSF, Etapa 04

No.	Sistema constructivo	Tipología de vivienda	Orientación	Resultados en base a la Temperatura Operativa Interior (TO) °C						Infiltraciones
				1 año = 12 meses = 365 días = 8760 horas						
				Meses confort anuales		Días confort anuales		Horas confort anuales		
				Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	
				12	100%	365	100%	8760	100%	
E4_01	Sistema LSF	Medianera	Sur	12	100%	340	93%	7726	88%	7 ACH50
E4_02			Este	12	100%	351	96%	6734	77%	
E4_03		Esquinera	Sur	12	100%	341	93%	7752	88%	
E4_04			Este	12	100%	352	96%	8029	92%	
E4_05		Aislada	Sur	12	100%	348	95%	7888	90%	
E4_06			Este	12	100%	359	98%	8287	95%	

Anexo 129: Secciones de las simulaciones en Desing Builder







Anexo 130: Informe Estructural de Tugalt

ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 2 PLANTAS PARA PROYECTO DE TITULACIÓN UNIVERSIDAD DE CUENCA

Antecedentes

El Departamento de Ingeniería y Proyectos de TUGALT SA recibe una solicitud para realizar un análisis estructural de un modelo de vivienda unifamiliar de dos plantas realizado por los estudiantes Rodrigo Brito y Daniel Villa como parte de su proyecto de titulación.

Se recibe archivos en formato del software Revit, por lo que se realiza el análisis de forma visual.

Análisis general

La estructura se encuentra correctamente modulada, conservando la linealidad en toda su elaboración lo que permite que el sistema trabaje de manera eficiente.

Se recomienda utilizar los siguientes perfiles:

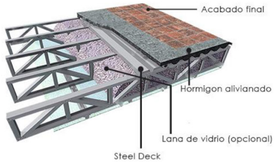
Perfil	Uso
Stud 90x0.93mm	Paredes y cerchas
Track 90x0.93mm	Paredes y cerchas
Stud 200x1.8mm	Entrepiso
Track 200x1.8mm	Entrepiso

En el caso de aperturas tales como puertas y ventanas se debe realizar un dintel tal y como se ha realizado en el diseño, sin embargo mientras mayor sea la apertura, se recomienda utilizar perfiles de mayor alma, tales como el Stud de 200x1.28mm para formar la "caja" (2 stud 200x1.28mm y 2 track 90x0.93mm).

En esta ventana se recomienda utilizar un perfil de 150x0.93mm para formar el dintel, ya que la apertura es de 1,6m.

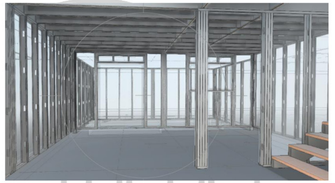
En la parte del entrepiso se recomienda utilizar perfiles de 200x1.8mm de espesor, en la actualidad estos perfiles no se producen en el país, pero se los tendrá disponibles en el transcurso del próximo año, esto se debe a las grandes luces que se tiene en la planta baja.

En la actualidad para diseñar esa longitud de luz se recomienda utilizar un entrepiso tipo cercha, esto se puede realizar con perfiles de 200x1.28 utilizados normalmente en los entrepisos. Se presenta una imagen de guía.



Anexo 131: Informe Estructural de Tugalt

Una observación importante es tratar de evitar las construcciones tipo columna, como la que se muestra en la figura.



El sistema estructural liviano está diseñado para repartir la carga en todos sus puntos y una columna de esas sería viable siempre y cuando se pueda distribuir su carga en toda su luz.

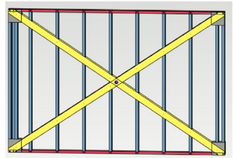
Conclusión

El elemento crítico a diseñar es el entrepiso, debido a la luz que se maneja. El departamento de Ingeniería y Proyectos recomienda realizar ese cambio tomando alguna de las dos soluciones propuestas (subir el espesor del material o formar cerchas tipo).

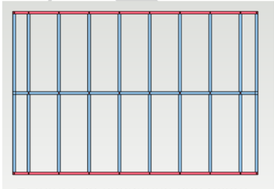
En general la estructura se encuentra modulada correctamente y de una manera eficiente, la cantidad de acero es la adecuada.

Recomendaciones

La recomendación principal es reforzar la estructura en el sentido horizontal.



Una opción es utilizar fleje rigidizador y formar la "cruz de san Andrés", para que la cruz sea eficiente debe ir asegurada con cartelas cuadradas en los extremos del panel y los tornillos deben ir sólo en esas partes. el fleje debe ir lo más tenso posible y no debe atornillarse en los stud por los que pase. Otra opción es rigidizar con un stud horizontal cada 1220mm.



Esta opción incluso facilita el modulado de las placas de revestimiento, ya sean de gypsum o fibrocemento.

En el presente informe se ha analizado la estructura tanto desde el cálculo estructural como la modulación del sistema Steel Frame. El departamento de Ingeniería y Proyectos de TUGALT espera que esta información sea útil e informativa acerca del modo de empleo del sistema. Cualquier requerimiento adicional, estamos a las órdenes.