

ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA

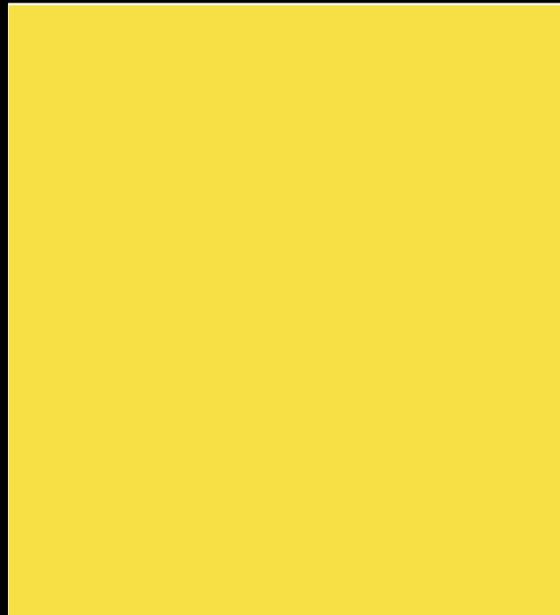
EN PANELES PREFABRICADOS DE ENVOLVENTES
VERTICALES PARA VIVIENDA EN UN CLIMA
ECUATORIAL MESOTÉRMICO SEMIHÚMEDO.

CUENCA - ECUADOR 2023



ESCUELA DE ARQUITECTURA
PROYECTO FINAL DE CARRERA PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTA

AUTORA
Ana Cristina Monsalve Bahamonde
DIRECTOR
Arq. Juan Carlos Calderón Peñafiel



A R Q U I T E C T U R A



Ana Cristina Monsalve
AUTORA

Juan Carlos Calderón
DIRECTOR

María Fernanda Aguirre
TRIBUNAL

María Isabel Carrasco
TRIBUNAL

Facultad de diseño, arquitectura y arte
ESCUELA DE ARQUITECTURA

Proyecto de investigación aplicada para la obtención del título de grado: "Estrategias de optimización de la transmitancia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales para vivienda en un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo".

Cuenca - Ecuador
Julio 2023

DEDICATORIA

A mis amados padres, Jorge y Cecilia,

Este logro que hoy celebro no habría sido posible sin su amor incondicional y su apoyo constante en cada paso de mi camino. Desde el principio, han sido mi fuente de inspiración y fortaleza, animándome a alcanzar mis metas con determinación y valentía.

Agradezco profundamente el tiempo y esfuerzo que han invertido en brindarme la mejor educación, abriendo las puertas hacia un futuro lleno de oportunidades. Su dedicación y sacrificio han sido el motor que me ha impulsado a superar obstáculos y perseverar en la búsqueda de mis sueños.

A mi hermana Paula, con su amor incondicional y su inquebrantable confianza en mí, ha sido mi compañera en cada paso del camino, recordándome constantemente el valor de luchar por aquello en lo que creo.

A mi hermano Miguel, agradezco su paciencia y disposición para ayudarme a resolver los desafíos que se presentaron en el camino. Siempre dispuesto a brindar su apoyo, su presencia ha sido una verdadera bendición.

Hoy, en este momento de triunfo, dedico mi tesis a ustedes, mis queridos padres y hermanos, como una forma de expresar mi profundo agradecimiento por su amor incondicional, sacrificio y constante aliento. Este logro es también suyo, y cada página escrita lleva impreso el amor y los valores que me han transmitido.

A todas las personas que han dejado una profunda huella en este trayecto académico. En primer lugar, al arquitecto Juan Carlos Calderón, cuya generosidad de tiempo, interés y apoyo han sido fundamentales en el desarrollo de esta investigación. Agradezco también a las arquitectas María Isabel Carrasco y Fernanda Aguirre, cuya colaboración y apoyo han contribuido significativamente a la mejora de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Asimismo, quiero extender mi gratitud a mis abuelos, tíos, primos, sobrinos, padres y hermanos, quienes han sido un sólido pilar en mi vida. Su amor incondicional y constante presencia han sido mi mayor fortaleza en cada etapa de este proceso.

También, quiero reconocer y agradecer a mis amigas, quienes han sido mi apoyo inquebrantable. Siempre dispuestas a tenderme una mano y brindarme su apoyo.

Por último, Agradezco de corazón a mi novio por su constante apoyo, palabras de aliento y presencia incondicional que han sido fundamentales en mi perseverancia durante esta última etapa de la universidad.

Cada uno de ustedes ha dejado una marca indeleble en mi camino y han sido una fuente de inspiración constante. Sin su invaluable influencia, este logro no habría sido posible. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por su inestimable contribución a mi crecimiento personal y profesional.

RESUMEN

En este trabajo se aborda la problemática de déficit habitacional cuantitativo y cualitativo de vivienda en Ecuador y la necesidad de implementar soluciones constructivas más eficientes y adecuadas desde el punto de vista térmico. El objetivo de la investigación es identificar estrategias para mejorar la eficiencia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales para clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, a través de una revisión bibliográfica y el análisis de casos de estudio para, posteriormente, aplicarlas al diseño de un panel optimizado. Los resultados muestran una mejora significativa en la eficiencia térmica y en la energía incorporada de las envolventes propuestas en comparación con métodos constructivos convencionales.

PALABRAS CLAVE:

Eficiencia energética, prefabricación, Prototipo de un sistema constructivo industrializado, Demountable House 6x9, Casa Loblolly.

ABSTRACT

This paper addresses the problem of quantitative and qualitative housing deficit in Ecuador and the need to implement more efficient and adequate construction solutions from the thermal point of view. The objective of the research is to identify strategies to improve thermal efficiency in prefabricated vertical envelope panels for equatorial mesothermal semi-humid climate through a literature review and the analysis of case studies, and then apply them to the design of an optimized panel. The results show a significant improvement in the thermal efficiency and embodied energy of the proposed envelopes compared to conventional construction methods.

KEY WORDS:

Energy efficiency, prefabrication, Prototype of an industrialized construction system, Demountable House 6x9, Loblolly House.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 11

1.01 Problemática y justificación	12
1.02 Pregunta de investigación e hipótesis	18
1.03 Objetivos	19
1.04 Metodología	20

REVISIÓN DE LITERATURA 23

2.01 Introducción a la prefabricación en la arquitectura y la vivienda	25
2.02 Historia de la prefabricación en la arquitectura y la vivienda	26
2.03 Coordinación dimensional	28
2.04 Tipos de prefabricados	32
2.05 Materiales utilizados en la prefabricación	38
2.06 El transporte como determinante	42
2.07 Métodos de montaje	46
2.08 Ventajas y desventajas de la prefabricación en la arquitectura y la vivienda	52
2.09 Impacto de la prefabricación en la sostenibilidad y la eficiencia en la construcción	54
2.10 La transmitancia térmica en la construcción	57
2.11 Factores que inciden en la transmitancia térmica	58
2.12 La transmitancia térmica en la prefabricación	64
2.13 Cálculo de transmitancia térmica	65
2.14 Normativas de transmitancia térmica	66

CASOS DE ESTUDIO 69

3.01 Selección de referentes base	70
3.02 Análisis de referentes seleccionados	72

DISEÑO 115

4.01 Estrategias de transmitancia térmica de los paneles	116
4.02 Diseño optimizado de panel	122

COMPARACIÓN 129

5.01 Análisis de envolventes	130
5.02 Comparación	136

RESULTADOS 141

6.01 Conclusión	142
6.02 Recomendaciones	143



I

INTRODUCCIÓN

1.01 Problemática y justificación

El acceso a una vivienda adecuada es reconocido como un derecho humano fundamental por la comunidad internacional. No obstante, muchas personas en todo el mundo no tienen acceso a una vivienda digna y adecuada. Según el informe de la ONU (2020), más de mil millones de personas viven en asentamientos informales en todo el mundo, lo que representa un tercio de la población mundial. Estos asentamientos carecen de servicios básicos como agua potable, saneamiento, electricidad y confort, lo que tiene graves consecuencias en la calidad de vida de sus habitantes y en su desarrollo humano.

La creciente desigualdad e inequidad en el acceso a la vivienda ha generado una crisis habitacional sin precedentes tanto en términos de cantidad como de calidad. Este problema ha dado lugar a un aumento de los asentamientos informales y el hacinamiento en numerosas partes del mundo, especialmente en los países en vías de desarrollo, donde la rápida urbanización ha creado una demanda insatisfecha de viviendas. Este problema se agudiza en Latinoamérica (ONU HABITAT, 2020) (Fig 1).

Según un informe de Trotta, (2016) la ONU ha alertado sobre la posibilidad de que una de cada cuatro personas vivirá en asentamientos informales sin acceso a servicios básicos en la próxima década si no se implementa un plan de intervención sólido. Para abordar el déficit habitacional, es importante medir las carencias en las viviendas y las condiciones habitacionales de la población. En este sentido, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador (MIDUVI), (2021) destaca la necesidad de generar un diagnóstico preciso de la situación para brindar soluciones efectivas a los problemas habitacionales.

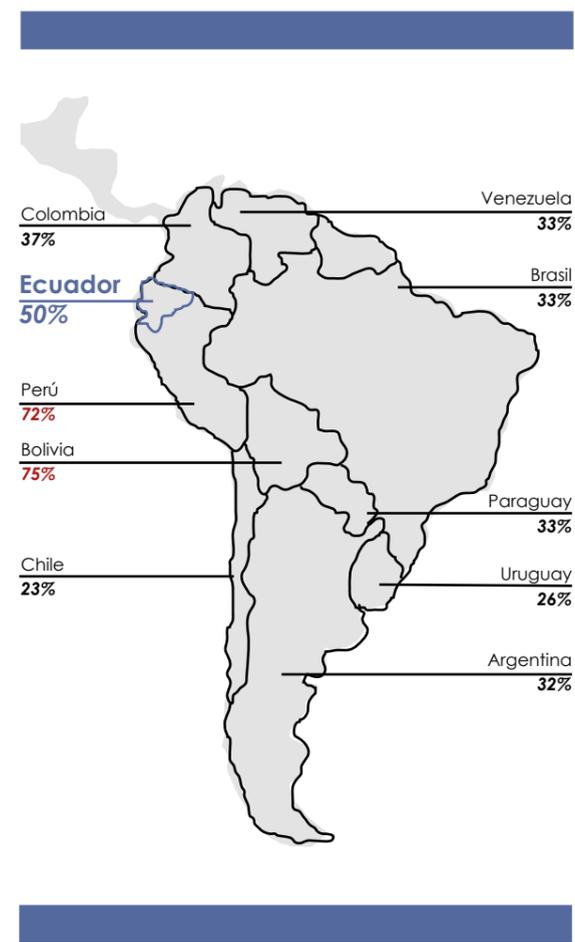


Fig 1: Déficit de vivienda en América latina. Fuente: (BID,2012)



Fig 2: Déficit habitacional nacional Ecuador. Fuente: (MIDUVI,2021)

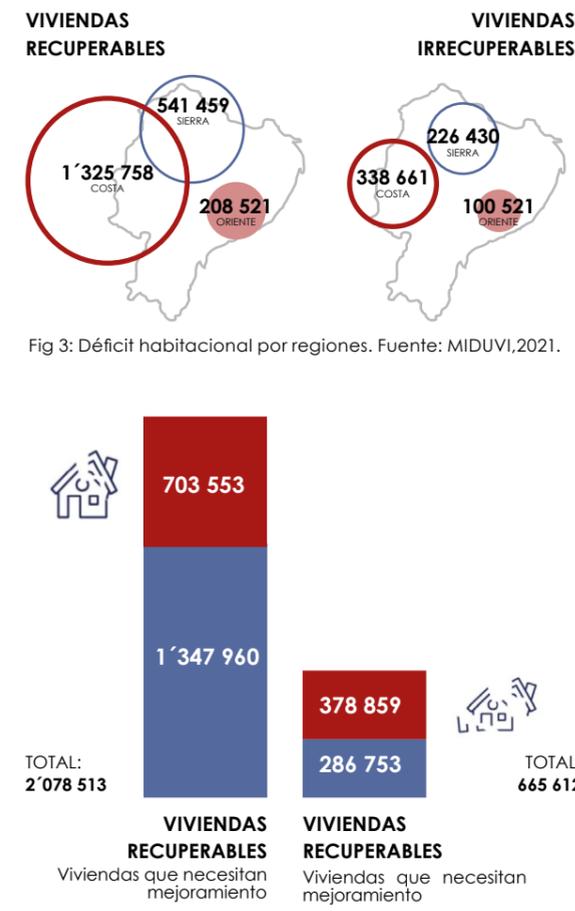


Fig 3: Déficit habitacional por regiones. Fuente: MIDUVI,2021.

Fig 4: Déficit de habitacional urbano y rural. Fuente: (MIDUVI,2021)

Según un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en Ecuador alrededor de 2 millones de hogares presentan déficit habitacional, siendo 1,2 millones de hogares ubicados en áreas urbanas y 850,000 en áreas rurales. En las áreas urbanas, el 21% de los hogares presentan déficit cualitativo, mientras que en las áreas rurales este porcentaje aumenta al 38% (fig 2-4).

La problemática de déficit habitacional es más común en las regiones de la costa y la sierra, mientras que en menor medida se presenta en la región oriental del país (Ecuador Verifica, 2021) (fig 3). Es importante señalar que las cifras del déficit habitacional no reflejan el número de familias que no tienen acceso a una vivienda propia, lo que aumenta aún más la dimensión del problema habitacional en el país (Torres, 2021)

En Ecuador, se clasifica el déficit habitacional en dos tipos: cualitativo (casas recuperables) y cuantitativo (casas irrecuperables). El déficit cuantitativo se refiere al porcentaje de viviendas que no pueden ser habitadas debido a su estado de deterioro avanzado, lo que se traduce en una falta de oferta de viviendas adecuadas en el mercado. Mientras tanto, el déficit habitacional cualitativo se refiere a la falta de calidad en las condiciones habitacionales de las viviendas existentes, como la falta de servicios básicos, espacio habitable, infraestructura en mal estado y materiales ineficientes (Ecuador Verifica, 2021).

A continuación, se presentan las características fundamentales de este déficit según el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (tabla, 2).

Características del déficit habitacional cualitativo	
Variable	Descripción
Espacio	Si más de 3 personas ocupan el mismo dormitorio
Disponibilidad de servicios	Energía eléctrica: paneles solares, vela, candil, mechero, gas o ninguno
	Agua: No proviene de red pública, sino a través de carro repartidor, pozo, río, vertiente, acequia, lluvia.
	Si la vivienda no cuenta con servicios higiénicos o únicamente con inodoro y pozo ciego o letrina.
Materiales	Aquellas que tienen piso de hormigón, ladrillo, tabla, tablón no tratado, caña, tierra, piedra.
	Aquellas que tienen paredes de adobe/tapia, bareque, caña, carrizo, plástico, zinc.
	Aquellas cuyo techo es de palma, paja, hoja, madera, lona, plástico.

Tabla 1: Características de déficit cualitativo en Ecuador. Fuente: (Dávila Noboa & Villavicencio Ramos, 2014)

Para hacer frente a las alarmantes cifras del déficit habitacional en Ecuador, el gobierno prometió generar alrededor de 200 mil viviendas nuevas durante su mandato presidencial de 4 años, para lo cual se destinaron 3400 millones de dólares (Ecuador Verifica, 2021). Sin embargo, a pesar de este compromiso, la construcción de viviendas actualmente no satisface ni siquiera la mitad de la demanda anual de nuevos hogares, ya que cada año se forman 87.000 nuevas familias, pero en los mejores momentos solo se construyen un máximo de 40.000 casas por año (La Hora, 2022). Lo más preocupante es que no se han implementado planes para abordar el déficit cualitativo de las viviendas existentes, ni se han incorporado estrategias para mejorar la calidad de las nuevas viviendas que se construirán, lo que podría llevar a que estas nuevas residencias eventualmente se conviertan en viviendas con déficit cualitativo.

Con el objetivo de promover el acceso a una vivienda digna para la población de bajos recursos económicos, los gobiernos locales de Ecuador han formado entidades responsables de cumplir con los objetivos de vivienda. En el caso de Cuenca, la Empresa Pública Municipal de Vivienda (EMUVI) es la encargada de garantizar el acceso a la vivienda a través de programas de vivienda social.

El objetivo principal de EMUVI es brindar soluciones habitacionales a las personas más necesitadas de la ciudad, lo cual resulta en un aspecto positivo para la sociedad (Fig 5). Sin embargo, la ineficiencia en los sistemas y materiales aplicados en las viviendas sociales ha sido objeto de controversia. La falta de consideración de factores contextuales y climáticos en la construcción de estas viviendas genera problemas de durabilidad, mantenimiento a largo plazo y compromete el confort térmico de los usuarios, lo que demuestra la necesidad de reconsiderar la forma en que se construyen estas viviendas.



Fig 5: Proyecto miraflores . Fuente: (EMUVI,2021)

En este sentido, es esencial que se utilicen de manera eficiente los recursos disponibles en la construcción de las viviendas sociales. Los materiales, tecnologías y energía empleados deben ser seleccionados con criterio, buscando economizar en la obra sin comprometer la calidad de los resultados. La prefabricación surge entonces como una solución alternativa para abordar esta problemática, ofreciendo beneficios significativos en términos de procesos sistematizados, tecnologías y maquinarias adecuadas, mejores acabados, ahorro de tiempo, menor huella de carbono y producción de menos residuos, además de la posible implementación de elementos de transmitancia térmica adecuados para cada clima (elEconomista, 2021).

Las residencias prefabricadas se presentan como una posible solución habitacional accesible y altamente eficiente, capaz de cumplir con los estándares de confort y estética de las viviendas convencionales. Este modelo habitacional podría ser una opción para promover la accesibilidad a viviendas dignas y reducir el déficit habitacional cualitativo en el país.

Tanto las personas con bajos recursos que buscan mejorar o adquirir una vivienda en propiedad, como los programas gubernamentales de vivienda social subsidiada, podrían beneficiarse del sistema de prefabricación, obteniendo mejores resultados a partir de una inversión económica similar.

La implementación del sistema de prefabricación en la construcción de viviendas podría contribuir al logro del objetivo 5 del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025, que busca proteger los derechos y servicios de las familias, erradicar la pobreza y promover la inclusión social. En este sentido, una de sus metas es reducir el déficit habitacional del país del 58,00% al 48,44%. Por lo tanto, el sistema de prefabricación es una alternativa que debe ser considerada para mejorar la calidad de vida de la población y contribuir al desarrollo habitacional del país (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

El uso de sistemas de prefabricación en la construcción de viviendas tiene como objetivo principal, no solo promover la construcción con materiales sostenibles, sino también, reducir la cantidad de residuos generados durante el proceso de construcción y ensamblaje gracias a la modularidad y prefabricación de los paneles utilizados. Este enfoque está alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12, que busca fomentar prácticas de consumo y producción sostenibles (Naciones Unidas, s. f.-a).

La prefabricación también promueve el uso de sistemas energéticamente eficientes, lo que se traduce en la creación de viviendas más funcionales tanto en su construcción como en su uso a largo plazo, fomentando estilos de vida más sostenibles. En este sentido, la implementación de sistemas de prefabricación en la construcción de viviendas no solo contribuye al logro de objetivos ambientales, sino que también representa una inversión a largo plazo en términos de eficiencia energética y calidad de vida para los habitantes de viviendas construidas con elementos prefabricados.



Figura 6: Residuos de la construcción. Fuente: (Dávila Noboa & Villavicencio Ramos, 2014)

1.02 Pregunta de investigación e hipótesis

Pregunta de Investigación:

¿Cómo se pueden optimizar las propiedades de transmitancia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales para viviendas en un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo?

Hipótesis:

La optimización de la transmitancia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales para vivienda en un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo puede ser lograda a través de la implementación de estrategias como la relación adecuada entre la cantidad de material y el volumen, la aplicación de uniones herméticas para evitar puentes térmicos entre paneles prefabricados, y la incorporación de materiales sostenibles, reciclados y/o del contexto natural. Se espera que esta investigación permita identificar las estrategias más efectivas para mejorar la transmitancia térmica en paneles prefabricados y contribuya al desarrollo de viviendas más sostenibles y eficientes en este tipo de clima.

1.03 Objetivos

1.03.1 Objetivo General:

Identificar estrategias de optimización de la transmitancia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales para vivienda en un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo

1.03.2 Objetivos Específicos:

1. Estudiar el marco teórico sobre prefabricación y transmitancia térmica.
2. Analizar casos de estudio para identificar y seleccionar las estrategias aplicables a paneles prefabricados de envolventes verticales para vivienda en un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo.
3. Emplear las estrategias de optimización identificadas y seleccionadas en el diseño de un panel prefabricado de envolvente vertical para vivienda en un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo.
4. Con el objetivo de cuantificar la optimización del comportamiento térmico mediante la aplicación de las estrategias seleccionadas y aplicadas, realizar un análisis comparativo entre la transmitancia térmica del panel prefabricado de envolvente vertical propuesto y la transmitancia térmica de un muro de envolvente de una vivienda convencional en clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo.

1.04 Metodología

1.04.1 Ámbito de estudio

El ámbito de estudio de la presente investigación se centra en el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, el cual es predominante en la zona interandina del Ecuador, es decir, representa también al clima de la ciudad de Cuenca. Según Pourrut & Pierre, (1983), en un estudio llevado a cabo en el marco de un convenio entre la ORSTOM y el PRONAREG (Programa Nacional de Regionalización Agraria del Ministerio de Agricultura y Ganadería) en Quito en 1983, este tipo de clima se caracteriza por la presencia de dos estaciones anuales de lluvia y temperaturas medias anuales que oscilan entre los 12 y 20°C. Además, la humedad relativa fluctúa entre 5 y 85%, mientras que la duración de la insolación se encuentra en el rango de 1,000 y 2,000 horas anuales. En lo que respecta a las temperaturas extremas, las máximas no suelen superar los 38°C o los 30°C, y las mínimas raramente bajan de los 0°C.

1.04.2 Investigación

Tipo de investigación:

La presente investigación se enmarca en un enfoque descriptivo y se divide en dos partes. La primera parte consiste en una investigación teórica acerca de la prefabricación y transmitancia térmica donde se examinan los conceptos y teorías relacionados con ellos. La segunda parte de la investigación consiste en un análisis de las características específicas de referentes arquitectónico en torno a la prefabricación y transmitancia térmica, denominado estudio de casos.

Recolección de información:

Para la obtención de información teórica sobre prefabricación y transmitancia térmica, se recopila información de fuentes confiables como libros, artículos, tesis y sitios web especializados en el tema. Para la recolección de obras arquitectónicas relevantes en torno a la construcción prefabricada, se emplea una selección cuidadosa de obras, basada en la revisión crítica de libros y revistas

especializadas en arquitectura que presenten una discusión actualizada y rigurosa sobre el tema de la prefabricación y aislamiento térmico en cuestión.

Muestra:

Para la selección de los referentes arquitectónicos, se busca incluir una muestra representativa de siete proyectos a nivel mundial que presenten diversas soluciones constructivas prefabricadas para varios climas correspondientes a las cuatro estaciones climáticas. Se consideran únicamente aquellos proyectos que hayan sido destacados en publicaciones especializadas en el tema de construcción prefabricada y obtenidos de fuentes confiables. De esta manera, se garantiza que los referentes seleccionados sean de alta calidad y hayan sido reconocidos en la comunidad académica y profesional, lo que añadirá valor a la investigación.

Instrumentos

Ficha de valoración:

Para la evaluación de los proyectos seleccionados, empleamos una ficha de valoración basada en el formulario creado por Ana Rodas, Cristian Sotomayor y Santiago Vanegas para la reflexión teórico-práctica de referentes arquitectónicos. Realizamos algunas adaptaciones al formulario original para relacionar de manera más precisa los resultados obtenidos con nuestros objetivos de investigación. En lugar de utilizar una opción de respuesta binaria de "sí" y "no", optaremos por una valoración numérica de 0 y 1, donde 0 indica que el referente no cumple con el criterio evaluado y 1 indica que sí lo cumple. De esta forma, tenemos la capacidad de asignar un valor cuantitativo basado en la suma total de los resultados al final del formulario. Asimismo, se agregan y sustituyen algunas preguntas para apoyar una evaluación más exhaustiva del referente en términos de prefabricación y transmitancia térmica. El formulario original se encuentra en el Anexo 1, mientras que el formato base de la ficha de valoración se encuentra en el Anexo 2.

Análisis de la información:

Se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la información teórica, seleccionando aquella que sea relevante para la investigación y utilizando los criterios establecidos para la elaboración de la revisión de literatura. Con ello se obtiene información precisa, clara y validada por expertos. Para el estudio de casos, se aplica la ficha de valoración a los siete referentes arquitectónicos seleccionados. Se identifican los tres con mejor puntuación para realizar un análisis detallado basado en las variables de la ficha de valoración. De esta manera, se obtiene una comprensión más profunda de la construcción del proyecto y las estrategias empleadas en el mismo.

1.04.3 Aplicación

En este apartado, se procede a realizar un análisis de la transmitancia térmica de los paneles de muro ciego y ventana correspondientes a cada uno de los casos de estudio. Este análisis permite evidenciar cuantitativamente cuál de ellos resulta más eficiente para el clima propuesto y determinar

cuáles son las estrategias utilizadas que más influyeron en la optimización de dichos paneles.

En este contexto, se plantea diseñar un panel de envolvente vertical para clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, aplicando las estrategias mencionadas anteriormente, a fin de lograr un diseño óptimo del panel prefabricado. Además, se busca mejorar su eficiencia incorporando materiales y sistemas constructivos que tengan la menor energía incorporada, pero que tengan una respuesta igual o mejor que la de los casos de estudio.

1.04.4 Comparación

Para finalizar el estudio, se realiza un análisis comparativo de la transmitancia térmica del panel prefabricado diseñado y de dos muros de construcción convencional, que son frecuentemente empleados en viviendas sociales construidas por el EMUVI. Los resultados obtenidos son contrastados y comparados con la normativa vigente de construcción en Ecuador, con el fin de determinar la efectividad y el cumplimiento de cada uno de los sistemas evaluados.



||

REVISIÓN DE LITERATURA

PREFABRICACIÓN

2.01 Introducción a la prefabricación en la arquitectura y la vivienda



Figura 7: Construcción prefabricada. Fuente: (Steven Storm, s. f.)

La prefabricación es un proceso de construcción que tiene lugar en una instalación especializada, donde se forman elementos a partir de varios materiales para su posterior instalación final in situ. Según Sparkman et al., (1999), esta tecnología de construcción alternativa reemplaza a la convencional, facilita y economiza la construcción de proyectos, y asegura índices de calidad más altos.

Para Ferrer Forés, (2011) el interés de incorporar la prefabricación a la construcción surge del esfuerzo social demócrata de proporcionar viviendas dignas y adecuadas para la población. Durante la construcción de un estado de bienestar para el pueblo y la progresiva introducción de la arquitectura moderna, aparecen varios proyectos para la construcción de unidades residenciales mediante prefabricados (Fig 8). Así, surge una síntesis entre arquitectura e industria que se refleja en la aplicación de soluciones tecnológicas diversas a través del detalle constructivo. La arquitectura, junto a la técnica, la repetición y la variación, fueron las constantes utilizadas en el desarrollo de proyectos para aproximarse a un campo de la experimentación residencial donde la resolución técnica prima sobre el valor arquitectónico.

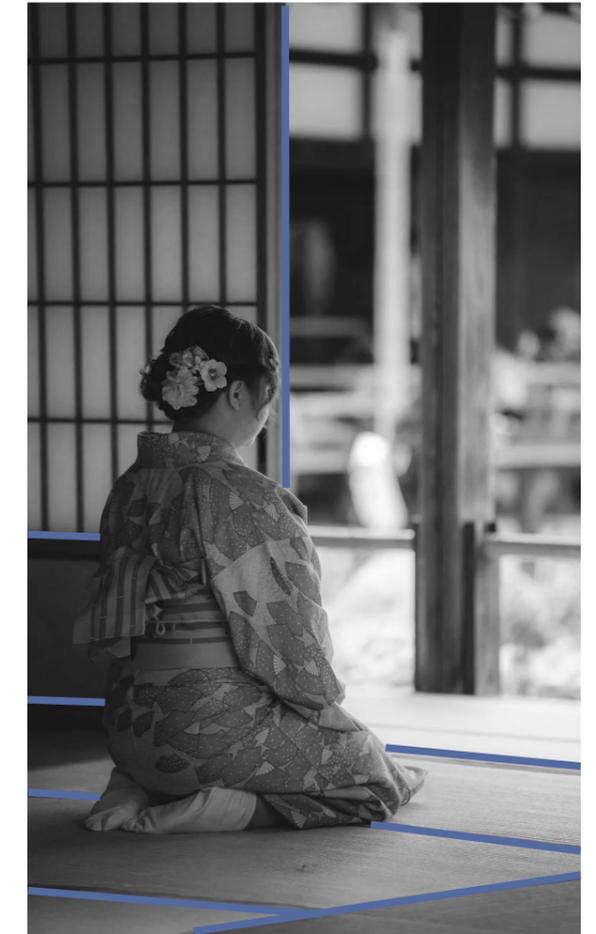


Figura 8: La prefabricación en la vivienda. Fuente: (William Justen, s. f.)

2.02 Historia de la prefabricación en la arquitectura y la vivienda

A lo largo de la historia, la técnica de la prefabricación ha sido utilizada en diversos tipos de edificaciones relacionadas con la arquitectura y la vivienda, evolucionando continuamente desde las civilizaciones antiguas hasta la actualidad. Las pirámides de Egipto son uno de los primeros vestigios de su aplicación en la arquitectura, donde de manera casi industrializada la civilización antigua cortaba, transportaba y ensamblaba grandes bloques de piedra (Novas Cabrera, 2010). En las culturas prehispánicas, los pueblos de América Latina ya implementaban técnicas de prefabricación durante esta época, elaborando componentes en un lugar diferente y ensamblándolos en el sitio final de construcción (Fig 9).

En la época del Renacimiento, Leonardo da Vinci planteó la idea de una ciudad modelo en Amboise, compuesta por casas prefabricadas desarmables, donde solo los cimientos debían ser vaciados in situ y el resto de piezas se crearían en una fábrica situada en la misma ciudad (Reiser Gasser, 2005). Aunque este sistema de construcción ya se encontraba desarrollándose desde hace décadas, según un artículo publicado en la

revista Britannica, (2013), se atribuye a la Inglaterra de los años 1830 la idea de la casa prefabricada, cuando se construyeron viviendas prefabricadas de madera para trabajadores del ferrocarril.

Durante la Revolución Industrial, la técnica de la prefabricación experimentó avances significativos, surgiendo nuevos materiales, técnicas, sistemas y retos sociales que afrontar, donde la vivienda prefabricada surgió como una solución a la realidad del momento (González, 2021). Esto dio paso a la popularización de la producción en fábrica a partir de nuevas maquinarias, lo que ocasionó que en Estados Unidos las empresas comenzaran a vender casas por catálogo (Marquit & Limandri, 2013). Para inicios del siglo XX, la producción de viviendas prefabricadas durante la Primera Guerra Mundial se vio afectada de manera significativa y la noción de la prefabricación casi había perdido su encanto (Marquit & Limandri, 2013).

Sin embargo, a mediados del siglo XX, la técnica de la prefabricación en la construcción aumentó su popularidad nuevamente, convirtiéndose casi en una obsesión, ya que para un país con un significativo déficit habitacional posguerra, llegar a un método más eficiente de producción en masa más económico y rápido, suponía una solución inmediata a la problemática nacional (Díez Martínez, 2019). A partir de ello, se generaron innumerables proyectos experimentales, con los que se buscaba obtener la estandarización de soluciones y la tipificación de diseños. En la actualidad, la técnica de la prefabricación sigue desarrollándose con métodos cada vez más eficientes y soluciones más efectivas, al punto que muchos reconocidos arquitectos han incursionado en la construcción prefabricada buscando eficiencia, ahorro de costos y libertad de los compradores para elegir (González, 2021).

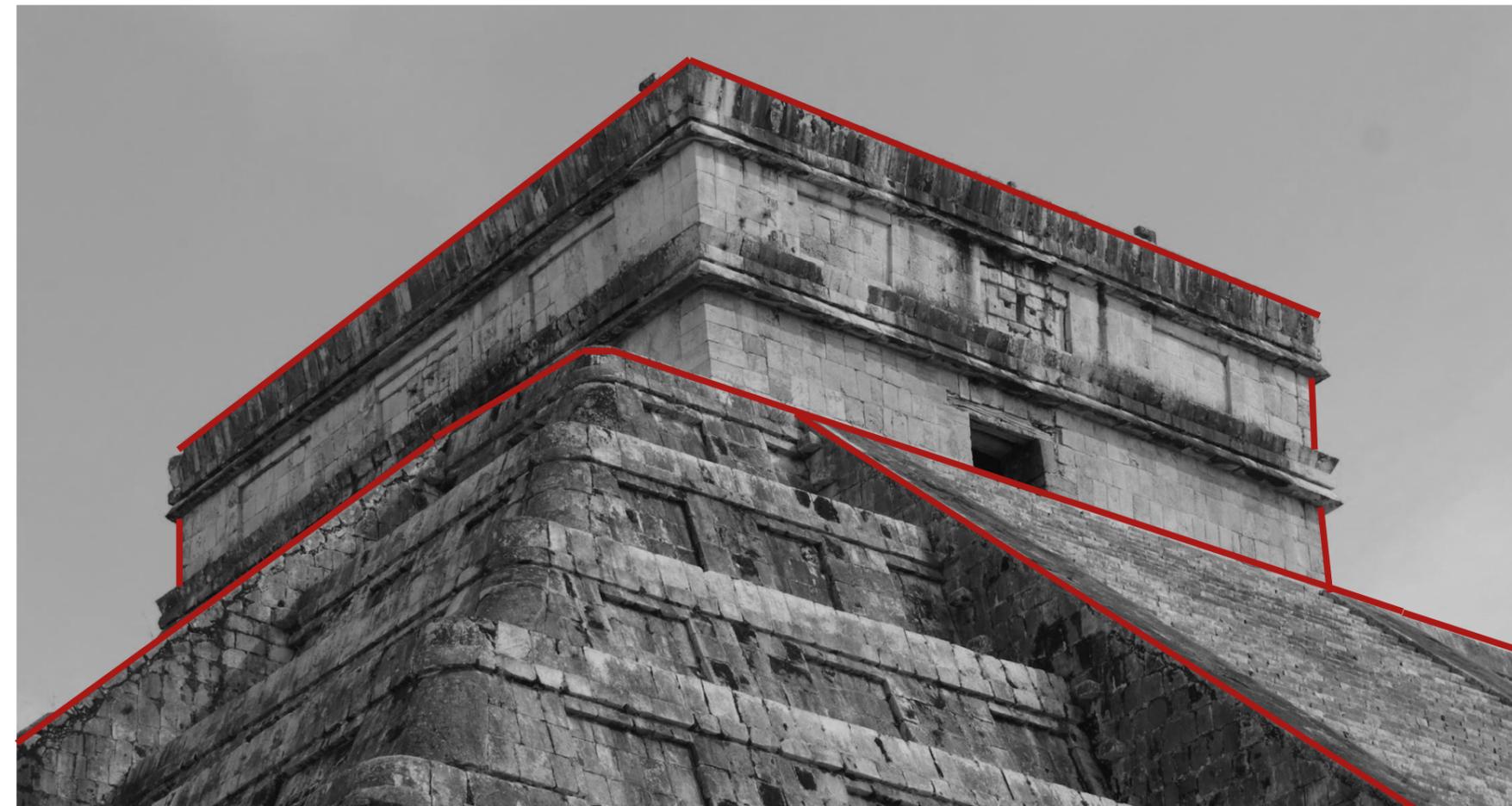


Figura 9: Pirámide de Chichén Itzá, cultura prehispánica. Fuente: (Carmen López, s. f.)

2.03 Coordinación dimensional

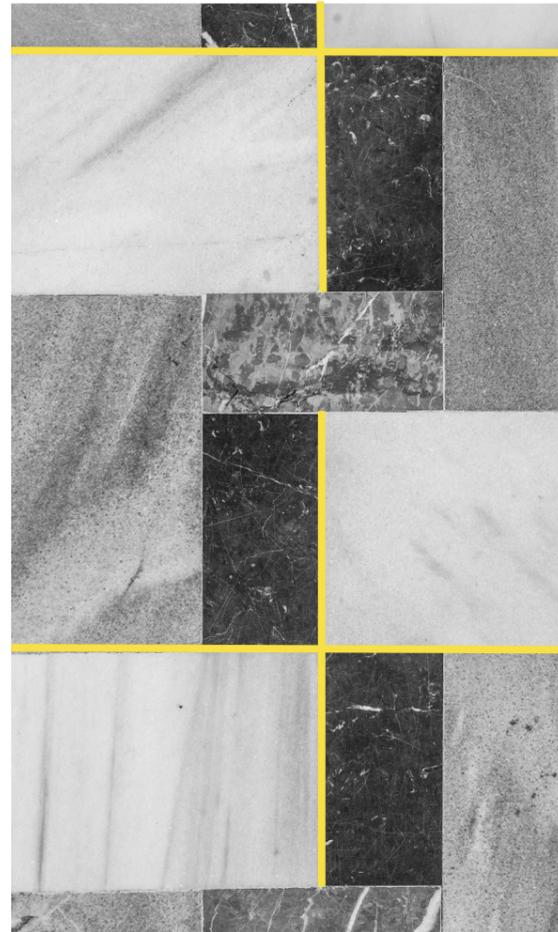


Figura 10: Coordinación modular en piso . Fuente: (Kinga Longa, s. f.)

Barboza et al., (2011) destacan la importancia de la coordinación dimensional en la construcción prefabricada como una herramienta para reducir desperdicios y aumentar la eficiencia productiva. Esta coordinación implica la relación entre las medidas del proyecto y las medidas de producción industrial, lo que permite establecer modelos funcionales y técnicamente eficientes. La coordinación dimensional también es una directriz de diseño que requiere una visión integrada de los componentes del sistema constructivo desde la concepción de la obra y actúa directamente sobre los componentes del sistema para hacerlos compatibles de forma integrada. Esto conduce a una planificación anticipada, un diseño de producción mejorado y una reducción de desperdicios materiales.

Dichos autores también examinan la relevancia de los componentes modulares en la producción de viviendas y cómo su racionalización a través de ajustes dimensionales puede mejorar significativamente la productividad y la calidad de los productos. El autor define la racionalización como la aplicación más eficiente de los recursos en todas las actividades relacionadas con la construcción (Fig 10).

2.03.1 El módulo

En los libros "Manual de la Construcción Prefabricada" y "Construcción industrializada", escritos por Tihamer Koncz, (1968, 1977) , se enfatiza la importancia de la coordinación de medidas en la construcción industrializada. La tipificación es fundamental para que los elementos que conforman la construcción sean coordinados entre sí, permitiendo la adición, combinación y sustitución de elementos. Esta coordinación se logra a través de una ordenación de valores que debe abarcar todas las medidas y dimensiones de las construcciones y sus elementos componentes. La unidad básica de este sistema es el "módulo", que es el máximo común divisor a partir del cual se pueden deducir todas las medidas de la construcción. La magnitud de dicho módulo es flexible, pero es fundamental fijarla para lograr la coordinación de medidas.

En el "Manual de Construcción prefabricada", se mencionan varios sistemas de medida elaborados para algunos trabajos, como el "Modulo" de Le Corbusier que parte de las dimensiones del cuerpo humano, el sistema octamétrico del profesor Neufert, y el módulo de 10 cm recomendado por la ISO (International Standard Organisation) y la IMG (International Modular Group (Fig 11). El uso de estas medidas modulares permite la simplificación del trabajo en la redacción del proyecto, la disminución de posibles errores, el aumento de la productividad gracias a la unificación, y la especialización del producto(Koncz, 1968).

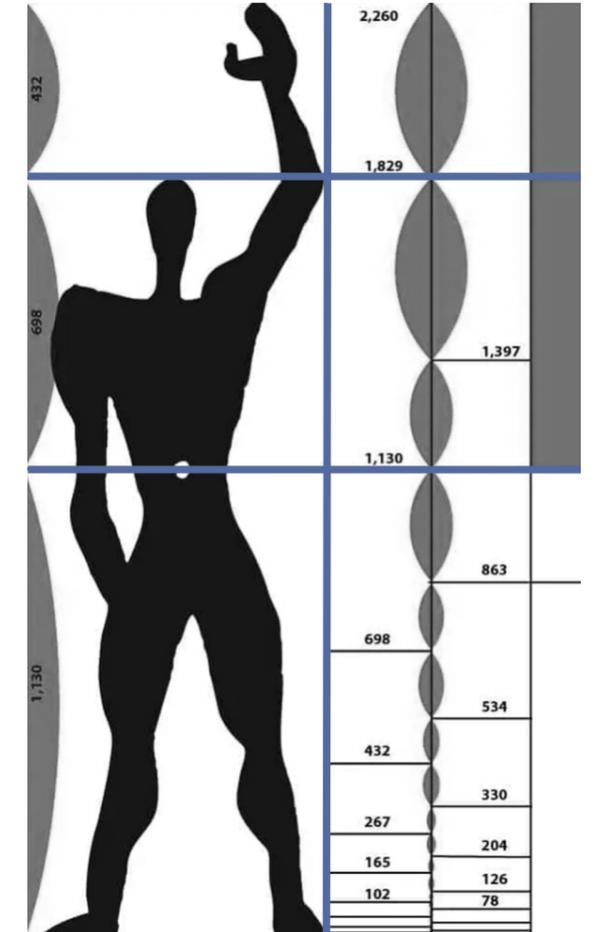


Figura 11: El Modulo de Le Corbusier. Fuente: (Arquitectura pura, s. f.)

2.03.2 La retícula

La adición de las medidas modulares da lugar a la retícula, una serie bi o tridimensional de líneas que determinan las medidas de una construcción. Esta retícula se forma a partir de la separación correspondiente a la magnitud del módulo y es esencial tanto para la planificación del proyecto como para su ejecución. La retícula comprende el espacio total y también la ejecución de este espacio, por lo que es importante la correspondencia entre la retícula de proyecto y la retícula de ejecución, lo que se logra mediante la coordinación modular de dimensiones (Koncz, 1968, 1977) (Fig 12).

Koncz, (1977) también describe el proceso de planificación y coordinación modular en la construcción industrializada. Primero, se debe determinar la magnitud de los módulos, incluyendo el módulo básico, los multi-módulos y los submódulos. La retícula de planificación se establece en módulos grandes, que se pueden dividir fácilmente, y para cada elemento constructivo se dedica un espacio modular, que también contendrá parte de las juntas. La retícula lineal se utiliza para estructuras sin esqueleto, y la ordenación dimensional ayuda a la disposición de los elementos del acabado.

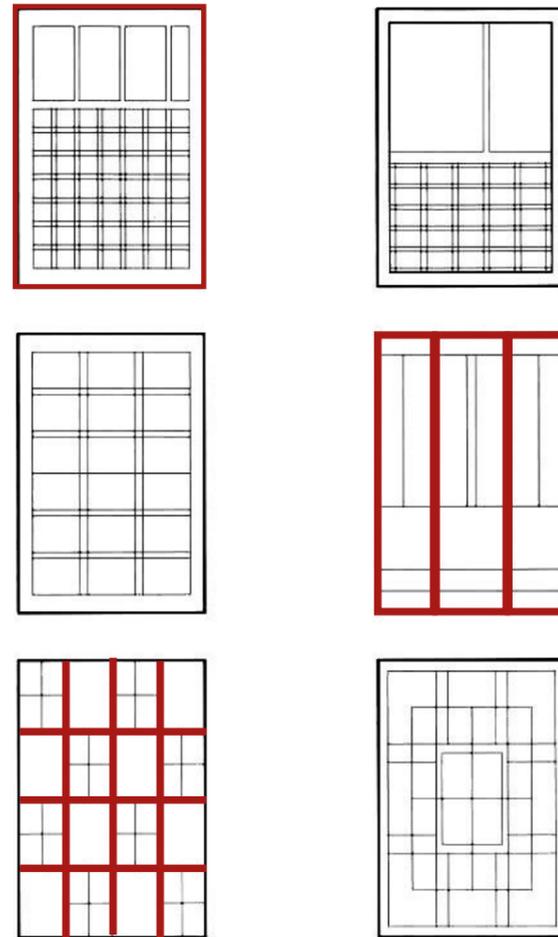


Figura 12: Variedades de retícula . Fuente: (sin nombre, s. f.)

2.03.3 Tolerancias y variaciones dimensionales

El arquitecto a menudo se enfrenta al problema de las tolerancias dimensionales durante los acabados de una construcción. Para evitar discusiones y errores, es recomendable consultar las normas alemanas específicas para este caso, como la DIN 18202 "tolerancias dimensionales", desde las primeras fases del proyecto.

Los sistemas constructivos prefabricados ofrecen una mayor precisión de medida en comparación con los sistemas tradicionales de hormigonado in situ, lo que permite obtener edificaciones con medidas exactas al centímetro (Fig 13). Sin embargo, es importante que se soliciten datos sobre las tolerancias necesarias a la empresa encargada de la fabricación de elementos como ventanas y puertas.

Las variaciones dimensionales pueden ser causadas por problemas en el montaje o aparecer después del mismo. En el caso de sistemas con juntas vistas interiores o exteriores selladas con masilla elástica, se pueden realizar ajustes después del montaje, cortando la junta en las zonas más estrechas y corrigiendo las zonas anchas. La calidad y durabilidad de estas medidas correctivas dependerán de las exigencias a las que estén sometidas (Rohm, 1977).

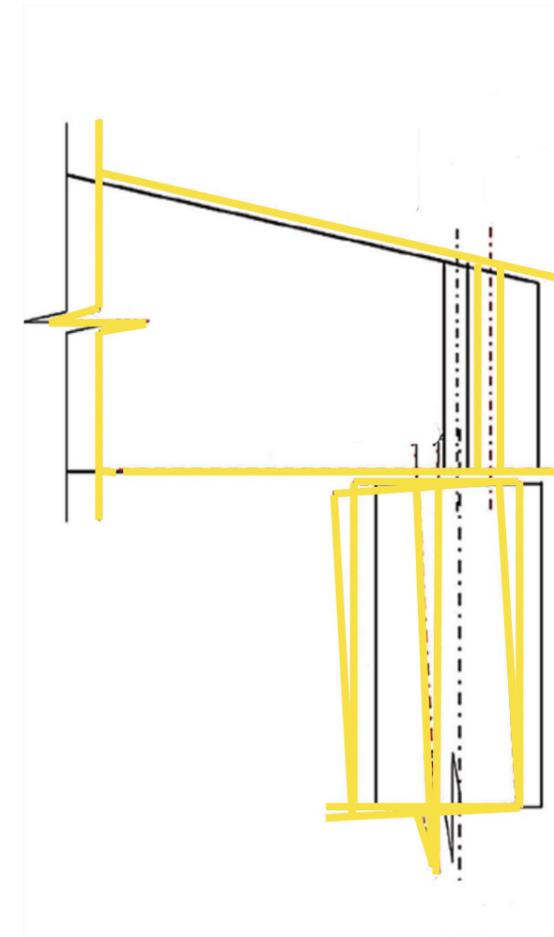


Figura 13: Ejemplo de variaciones dimensionales entre elementos. Fuente: (Miguel Ángel Liébana & Ramón Álvarez Cabal, s. f.)

2.03.4 Productos y tipificación

Para lograr la economía en la fabricación en serie de productos, como los elementos constructivos, se deben considerar ciertas condiciones como la utilización mínima de materiales, la fabricación con procesos mecanizados, la capacidad de transporte a largas distancias y la facilidad de montaje. Sin embargo, antes de estudiar el desarrollo de un elemento constructivo, se debe analizar la demanda y los requisitos del mercado. Esto permite una valoración inicial que sirve como base para el proyecto. Luego, se crea un prototipo que se controla y se mejora para garantizar su factibilidad y aprovechamiento. La flexibilidad y la variabilidad son características fundamentales del producto y se logran a través de la tipificación, en la cual se definen distintos tipos para diversas luces y cargas (Koncz, 1968).

En línea con estos principios, Rojas et al., (2022) sugieren que la aplicación de la coordinación modular, la estandarización y la racionalización, junto con el uso de materiales reciclados y renovables, son fundamentales para avanzar hacia soluciones habitacionales más eficientes (Fig 14).



Figura 14: Tipificación de baldosas. Fuente: (Monstera, s. f.)

2.04 Tipos de prefabricados

Los prefabricados se dividen en varios tipos principalmente para poder tener una mejor organización y clasificación de los elementos según su forma, uso y material (Novas Cabrera, 2010). Esta división permite una mejor comprensión y manejo de los prefabricados en la construcción de edificaciones, facilitando su diseño, fabricación, transporte y montaje en la obra (Fig 15).

Estos tipos incluyen paneles, estructuras, elementos para cubiertas, cerramientos y elementos ornamentales. Cada tipo de prefabricado tiene sus propias características y ventajas, lo que los hace útiles en diferentes situaciones constructivas. A continuación se analiza cada uno de los tipos y subclasificaciones, basándonos en el texto "Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo" de Novas Cabrera, (2010).

Los prefabricados también tienen una subclasificación de elementos, aunque es importante tener en cuenta que estos parámetros pueden variar según la fuente y el enfoque es relevante mencionarlos pues pueden ser útiles para distinguir entre tipos de prefabricados y sus características específicas. Algunas subclasificaciones comunes son: el tipo de conexión (rígida o flexible), el grado de prefabricación (total o parcial), el método de ejecución (industrial, taller u obrador), el grado de acabado (finalizado o por terminar) y el peso (liviano o pesado). El conocimiento de estas subclasificaciones es fundamental para seleccionar el tipo de prefabricado adecuado para cada proyecto y asegurar una construcción eficiente y segura. Es importante tener en cuenta que la subclasificación puede variar según el contexto y los objetivos de la investigación o el proyecto de construcción.



Figura 15: Organización de elementos prefabricados en obra. Fuente: (Enging Akyurt, s. f.)

2.04.1 Paneles

Los paneles prefabricados son elementos planos y rectangulares que se utilizan para la construcción de muros, cubiertas y fachadas (Novas Cabrera, 2010)(Fig 16). Según su material y uso, se pueden clasificar en:

- Paneles de hormigón: fabricados con cemento, arena, agua y otros agregados, son resistentes y duraderos. Se pueden utilizar como elementos estructurales y de acabado.
- Paneles de madera: se fabrican con madera contrachapada o de ingeniería, son ligeros y fáciles de manipular. Se utilizan principalmente como elementos de acabado y aislamiento.
- Paneles de acero: fabricados con acero laminado en frío o en caliente, son resistentes y versátiles. Se utilizan como elementos estructurales y de acabado en construcciones de gran altura.

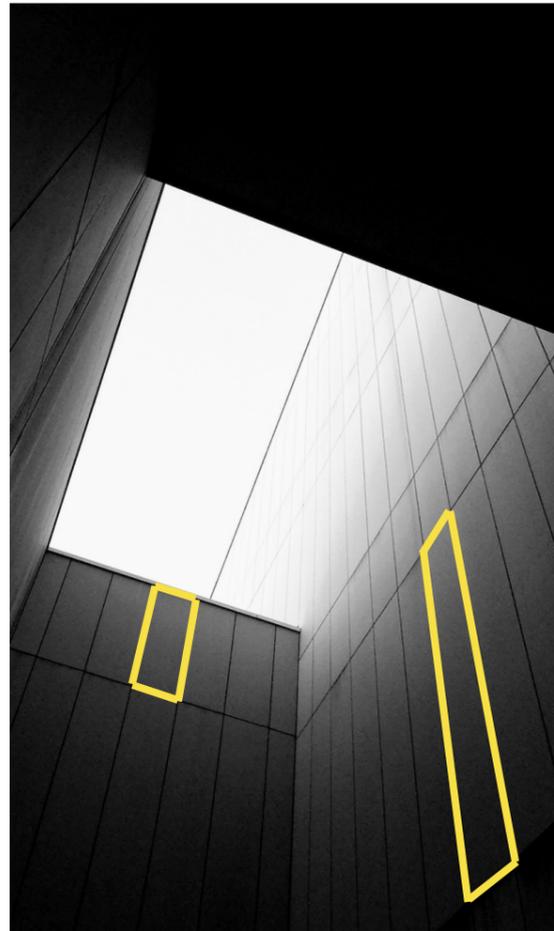


Figura 16: Paneles prefabricados . Fuente: (Jhon Lee, s. f.)

2.04.2 Estructuras

Los elementos estructurales como vigas y columnas son utilizados para soportar cargas y transmitir las al suelo (Fig 17). Según su forma, material y método de conexión, se clasifican en los siguientes tipos:

- Vigas y pilares de hormigón: fabricados con hormigón armado, son resistentes y duraderos. Se pueden clasificar según su forma y su método de conexión.
- Vigas y pilares de acero: fabricados con acero laminado en frío o en caliente, son versátiles y resistentes. Se clasifican según su forma y su método de conexión.
- Vigas y pilares de madera: elaborados generalmente con maderas tratadas, son de fácil manipulación e instalación debido a ligero peso. Se clasifican según su forma y disposición de las fibras.



Figura 17: Estructura prefabricada . Fuente: (Dennis Ariel, s. f.)

2.04.3 Elementos para cubiertas

Los elementos prefabricados para cubiertas se utilizan para cubrir y proteger los espacios interiores de las edificaciones (Fig 18). Según su forma, material y acabado superficial, se clasifican en:

- Paneles de techo: fabricados con diferentes materiales como fibrocemento, policarbonato o teja, se utilizan para cubrir techos inclinados o planos.
- Losas de cubierta: fabricadas con hormigón armado, se utilizan en cubiertas planas y terrazas. Pueden clasificarse según su acabado superficial (liso, ondulado, etc.).

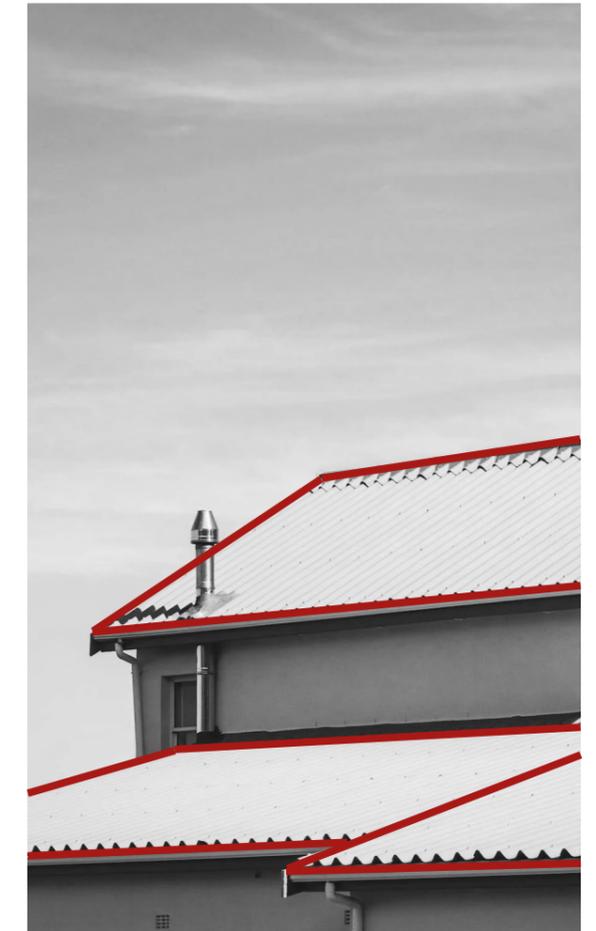


Figura 18: Cubierta de elementos prefabricados . Fuente: (Myburgh Roux, s. f.)

2.04.4 Cerramientos

Los prefabricados para cerramientos se utilizan para cubrir los huecos en los muros y proteger las edificaciones del exterior (Fig 19). Según su material y uso, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Puertas y ventanas prefabricadas: fabricadas con diferentes materiales como aluminio, vidrio o PVC, se clasifican según su uso (estático, corredizo, etc.).
- Paneles de cerramiento: fabricados con diferentes materiales como hormigón, vidrio o acero, se utilizan para cubrir los huecos de los muros y proteger las edificaciones del exterior.

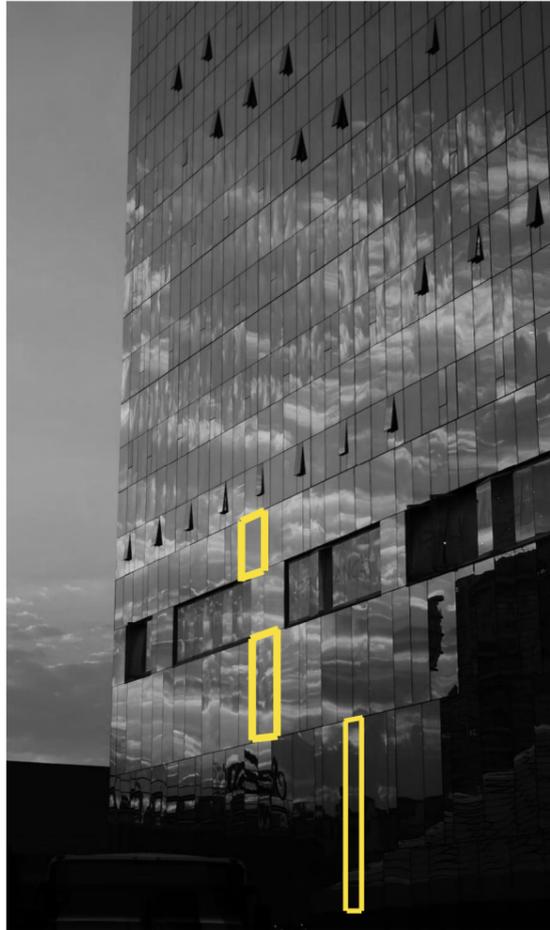


Figura 19: Cerramiento prefabricado . Fuente: (Ricardo Olvera, s. f.)

2.04.5 Elementos Ornamentales

Los elementos prefabricados decorativos se utilizan para dar un acabado estético a las edificaciones (Fig 20). Se clasifican según su forma, material y acabado superficial:

- Molduras y cornisas: fabricadas con diferentes materiales como poliestireno, yeso o cemento, se utilizan para dar un acabado decorativo a los techos y paredes.
- Elementos ornamentales: fabricados con diferentes materiales como hormigón, cerámica o piedra, se utilizan para decorar fachadas y jardines.

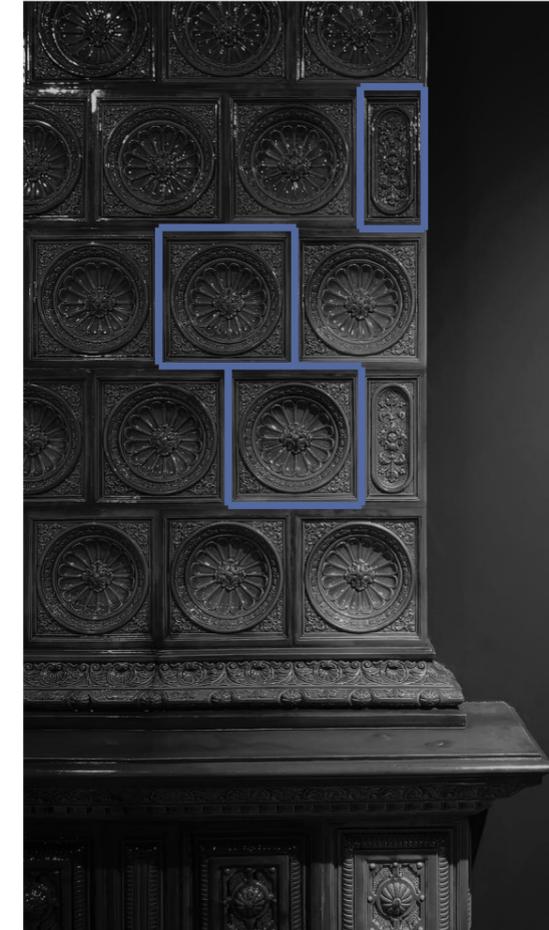


Figura 20: Elementos prefabricados ornamentales. Fuente: (Ekaterina Astakhova, s. f.)

2.05 Materiales utilizados en la prefabricación

Novas Cabrera, (2010) en su estudio, comenta que la aplicación de materiales para elementos prefabricados, está condicionada por sus cualidades estéticas, de resistencia a agentes agresivos y por el costo de los mismos. Además de ello el autor asegura que existen otras determinantes que intervienen, como la accesibilidad de obtención material, el presupuesto, las características del lugar, la relación con el entorno, entre otras. Sin embargo, a nivel mundial se han establecido ya algunos materiales favoritos para ser aplicados en elementos prefabricados, a continuación, se mencionan los más comunes utilizados en la elaboración de construcciones modulares según Manzanares, (2021).

Además, es fundamental destacar que la unión adecuada de los materiales en una construcción es clave para asegurar una respuesta eficiente a las distintas necesidades.

A partir de la combinación de materiales, se pueden crear una gran variedad de configuraciones que no solo funcionan bien en términos de eficiencia, sino que también cumplen con criterios estéticos (Fig 21).



Figura 21: Combinaciones de materiales en prefabricados . Fuente: (Hilary Halliwell, s. f.)

2.05.1 Hormigón

El hormigón al ser un material compuesto por cemento, arena, piedras y aditivos, es muy versátil y adaptable a diferentes usos y necesidades. Es especialmente útil en la elaboración de elementos prefabricados, donde aporta altos índices de durabilidad, eficiencia energética y aislamiento, lo que lo hace ideal para la construcción de edificios, puentes y otras estructuras.

Una de las ventajas más importantes del hormigón es su resistencia y durabilidad, lo que lo hace adecuado para su uso en entornos adversos y estructuras de gran tamaño. Además, su versatilidad y facilidad de trabajo permiten la producción de elementos prefabricados a medida y con formas variadas, lo que resulta en una mayor eficiencia y precisión en la construcción (Fig 22).

La aplicación de técnicas de reciclaje en la producción de hormigón reduce los costos y los desperdicios, y disminuye el impacto ambiental de la construcción, lo que lo hace ideal para proyectos de construcción de gran escala y presupuestos ajustados.

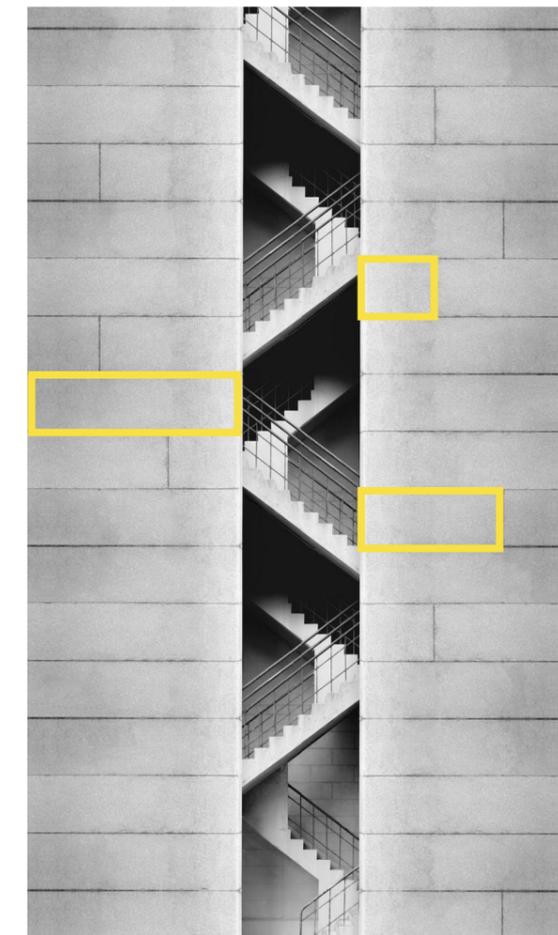


Figura 22: Construcción con prefabricados de hormigón. Fuente: (Henry & Co., s. f.)

2.05.2 Madera

La madera es un material ampliamente utilizado en la prefabricación de edificaciones debido a sus múltiples beneficios y características. La disponibilidad es una de las razones principales para su popularidad en la construcción, ya que es un recurso natural renovable y sostenible si se maneja adecuadamente. Además, la madera es un material económico en comparación con otros materiales de construcción, lo que la hace una opción atractiva para proyectos de construcción de diversos tamaños y presupuestos.

La versatilidad de este material es otro factor importante que contribuye a su popularidad en la construcción. Puede utilizarse para una amplia variedad de aplicaciones, desde estructuras de soporte hasta acabados interiores y exteriores. La facilidad con la que se puede cortar y dar forma permite la creación de diseños personalizados, lo que la hace ideal para proyectos de construcción únicos y atractivos (Fig 23).

La resistencia de la madera es una característica esencial para su uso en la construcción. Ya que es firme, lo que la hace adecuada para su uso en estructuras de soporte. Además, es un excelente aislante térmico, lo que la hace ideal para su uso en estructuras prefabricadas que requieren una alta eficiencia energética.

En la fabricación de módulos eficientes, se utilizan diferentes tipos de madera para generar paneles modulares de fácil instalación y conexión. Se aprovechan las características y el volumen de cada tipo de madera para lograr mayor aislamiento y durabilidad. Las maderas duras se utilizan para resistir la humedad y los cambios de temperatura, mientras que las maderas blandas se emplean principalmente con fines estéticos en interiores.



Figura 23: Paneles prefabricados con madera. Fuente: (Pixabay, s. f.)

2.05.3 Acero

Manzanares, (2021) destaca la relevancia del acero en la prefabricación actual debido a las soluciones técnicas innovadoras que ha generado, gracias a los métodos de fabricación empleados en la construcción de estructuras metálicas y al uso de acero reciclado a nivel industrial.

El acero es un material muy valorado en la fabricación de elementos prefabricados por sus excelentes propiedades mecánicas. Además, su facilidad para moldearlo y fabricarlo en diferentes formas y tamaños permite la producción de elementos prefabricados personalizados (Fig 24).

Los elementos prefabricados de acero son más livianos que los de concreto, lo que facilita su transporte y manipulación en el sitio de construcción y reduce los costos de transporte y mano de obra.

Al igual que estos existe una amplia variedad de materiales aplicables a la construcción de elementos prefabricados tales como: aluminio, plástico, PVC, etc., mismos que se pueden combinar para generar modelos más eficientes, económicos y que respondan de mejor manera a las necesidades del contexto.



Figura 24: Estructuras de acero. Fuente: (Pixabay, s. f.)

2.06 El transporte como determinante

La prefabricación de edificios es una técnica que ha ganado cada vez más popularidad en la construcción de edificios modernos. En este contexto, el transporte y montaje de los elementos prefabricados son dos factores cruciales que pueden tener un impacto significativo en la planificación y ejecución del proyecto (Fig 25).



Figura 25: Transporte en contenedores. Fuente: (David Dibert, s. f.)

2.06.1 Medios de transporte

Existen diferentes medios de transporte para elementos prefabricados, dependiendo del tamaño, peso y tipo de elemento. En general, el medio de transporte a utilizar dependerá de las características específicas de los elementos prefabricados y del destino final, así como de los costos y plazos de entrega. Algunos de los medios más comunes son:

- Camiones: Los elementos prefabricados más pequeños pueden ser transportados en camiones, ya sea en plataformas o remolques especiales para este tipo de cargas.
- Barcos: En caso de que los elementos prefabricados sean muy grandes o pesados para ser transportados por carretera, se pueden utilizar barcos o barcazas para llevarlos por agua.
- Trenes: Si los elementos prefabricados tienen que ser transportados a largas distancias, el tren puede ser una opción más eficiente que el camión. Además, los vagones de carga se pueden adaptar para transportar elementos prefabricados de diferentes tamaños.
- Aviones: Si se necesita transportar elementos prefabricados de manera urgente, el avión puede ser una opción, aunque es menos común debido a los costos y limitaciones de tamaño y peso.
- Grúas: En algunos casos, los elementos prefabricados pueden ser levantados y transportados por grúas, lo que permite llevarlos a lugares de difícil acceso o terrenos muy irregulares.

2.06.2 Restricciones

Según Walter Rohm, (1977), el transporte de los elementos prefabricados se realiza más comúnmente por carretera y está sujeto a las limitaciones establecidas por el código de circulación. En cuanto a las restricciones, se permite un ancho máximo de 2.5 metros y una altura máxima de 2.5 metros sin problemas, aunque se pueden obtener permisos especiales para anchuras de hasta 4 metros y alturas excepcionales de hasta 4 metros con camiones plataforma baja y carreteras adecuadas. En términos de longitud, se permite el transporte de elementos de hasta 15 metros sin permiso especial, aunque se pueden obtener permisos especiales para transportar elementos de hasta 22 metros y, en algunos casos, con escolta policial, se pueden transportar elementos de hasta 40 metros.

2.06.3 Costes

En el manual de Tihamer Koncz, (1968), se señala que el uso de piezas prefabricadas puede ser rentable si el costo de transporte y montaje es menor que el de la construcción convencional. La industria mecánica ha avanzado significativamente en el desarrollo de medios de transporte eficientes y económicos, siendo el transporte por carretera el medio más relevante en la mayoría de los casos. Por lo tanto, es importante que las piezas prefabricadas se produzcan considerando las limitaciones de transporte.

Aunque en algunos casos el montaje se lleva a cabo directamente desde el camión de transporte, esto no siempre es posible y, a veces, es necesario almacenar los elementos en la obra, puede generar problemas de espacio y por ende aumenta los costes de construcción.

2.06.4 Adecuaciones al transporte

Paya Peinado, (1975), destaca en su trabajo sobre prefabricados de hormigón que el transporte de los elementos prefabricados se realiza mediante remolques especialmente diseñados que incluyen caballetes de soporte con dispositivos de fijación y anclaje (Fig 26). Esta operación es fácil y rápida de llevar a cabo, y los elementos salen de la fábrica en su estado final, sin sufrir ningún tipo de daño en el transporte gracias a que los remolques cuentan con dispositivos amortiguadores.

El transporte y montaje adecuado de los elementos prefabricados son fundamentales para garantizar la eficacia y eficiencia del proyecto de construcción. Se debe tener en cuenta las limitaciones de transporte establecidas por el código de circulación y producir las piezas prefabricadas considerando estas restricciones para garantizar su correcto transporte y evitar daños en el proceso.



Fig 26 : Sujeción de paneles mediante correas a caballetes de transporte. Fuente: (Constructora QUID . s. f.)

2.07 Métodos de montaje

En la construcción de obras prefabricadas, el costo del montaje puede representar del 10% al 30% del costo total de la obra, por lo que es esencial contar con una planeación adecuada de las actividades para economizar la construcción (Reinoso Angulo et al., s. f.). En este sentido, es importante tener en cuenta el tipo de elementos prefabricados que se van a instalar, ya que se aplican diferentes sistemas de montaje (Fig 27).



Fig 27 : Montaje manual de paneles. Fuente: (Aranxa Treva, s. f.)

2.07.1 Grúa

La utilización de grúas para el montaje de elementos prefabricados se ha convertido en una práctica común en la construcción de grandes y complejas estructuras o elementos pesados, tales como edificios, puentes y torres (Chazaro Rosario, 2019). Este método de montaje ofrece numerosas ventajas, entre las que se incluyen una mayor velocidad de construcción gracias a la rapidez con la que se pueden colocar las piezas mediante esta maquinaria (Fig 28). Además, este método garantiza una mayor precisión en el montaje gracias a sus tecnologías automatizadas, y se prevé un menor uso de mano de obra. En el caso de elementos prefabricados más livianos, se puede hacer uso de máquinas auto elevadoras (Chazaro Rosario, 2019).

Es importante tener en cuenta que el montaje con grúa requiere una planificación cuidadosa y una coordinación efectiva entre los equipos de diseño, fabricación y construcción. Asimismo, es necesario considerar los requisitos de espacio y acceso para la grúa, así como la capacidad de la misma y el peso y las dimensiones de los elementos prefabricados.



Figura 28: Grúa de montaje. Fuente: (Rick, B., s. f.)

2.07.2 Encajes

El montaje de elementos prefabricados mediante encajes es una técnica ampliamente utilizada en la construcción de estructuras grandes y complejas, como edificios, puentes y túneles. Los elementos prefabricados se diseñan y fabrican con ranuras, agujeros y bordes que les permiten encajar perfectamente con otros elementos en el sitio de construcción (Soto Ardila, 2022). Es importante destacar que los elementos prefabricados son desmontables, reparables y reemplazables, lo que aumenta su durabilidad y versatilidad.

El uso de encajes en el montaje de elementos prefabricados tiene varias ventajas, como la precisión geométrica que garantiza un encaje exacto, lo que mejora la calidad del acabado y reduce la cantidad de desperdicios y residuos de materiales. Además, el método de encaje permite un montaje manual o mecánico, lo que mejora la eficiencia del proceso de construcción.

Por otro lado, el acabado de los elementos prefabricados con encajes tiene una apariencia estética atractiva, similar a la de la junta seca (Bilca, 2016) (Fig 29).

Para utilizar el montaje mediante encajes de elementos prefabricados, es esencial una planificación detallada con anterioridad. Se deben diseñar los elementos prefabricados con encajes precisos y fabricarlos con tolerancias estrechas para garantizar un ajuste perfecto. Además, se debe considerar la logística y el transporte para garantizar que los elementos lleguen al sitio de construcción en el orden y la secuencia correctos.

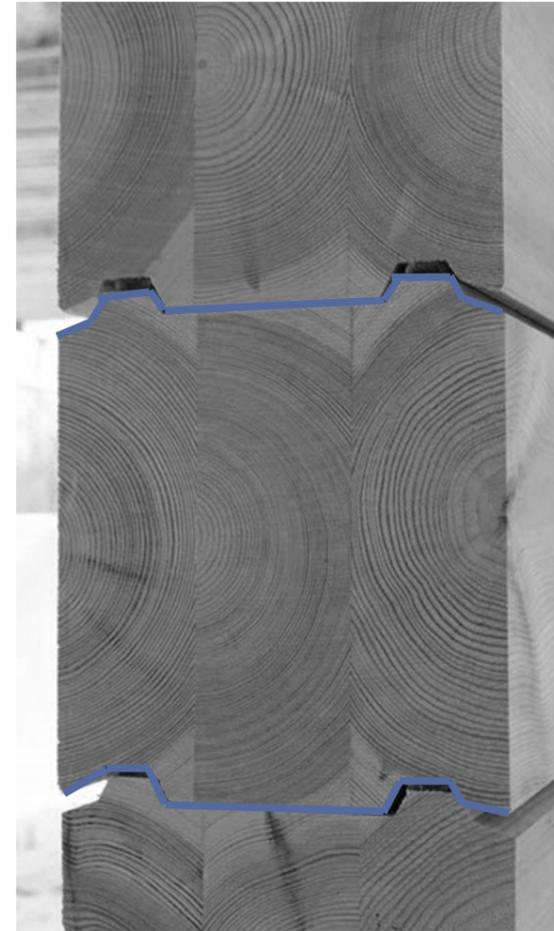


Figura 29: Encajes entre maderas. Fuente: (Samuli Miettinen, s. f.)

2.07.3 Conexión atornillada

La conexión atornillada es un método de unión ampliamente utilizado en la construcción de edificios y estructuras de acero. Esta técnica consiste en fijar dos o más elementos prefabricados, como vigas o columnas, mediante el uso de pernos. Para ello, se perforan agujeros en los elementos que se van a unir, se insertan los pernos a través de los agujeros y se aseguran con tuercas y arandelas en ambos lados de la conexión (Fig 30).

Según SkyCiv Engineering, (2022) existen múltiples configuraciones de conexión que se pueden utilizar para establecer una combinación de elementos mediante tornillos y pernos. Una de las principales ventajas de la conexión atornillada es que se puede desmontar fácilmente si es necesario. Además, el uso de pernos y tuercas en lugar de soldaduras permite una mayor flexibilidad en la construcción, lo que puede ser útil en situaciones donde se requiere ajustar o modificar la estructura.

No obstante, la conexión atornillada presenta algunas limitaciones en comparación con la soldadura. Puede ser más difícil garantizar una conexión resistente a la fatiga y las vibraciones, y el proceso de perforación de agujeros y la inserción de pernos puede ser más laborioso y costoso que la soldadura. En cualquier caso, la conexión atornillada es una técnica eficaz y popular para unir elementos prefabricados en la construcción de edificios y estructuras de acero.



Figura 30: Conexión atornillada. Fuente: (David McElwee, s. f.)

2.07.4 Soldadura

La soldadura entre elementos prefabricados es un método de unión utilizado en la construcción de edificios y estructuras de acero que implica la fusión de los elementos mediante el uso de calor y una varilla de soldadura o con presión (Kemppi Oy, 2023). Este método se utiliza para unir elementos prefabricados, como vigas o columnas, mediante la creación de una unión fuerte y permanente entre ellos (Fig 31).

La soldadura entre elementos prefabricados se realiza utilizando una máquina de soldadura, que produce una corriente eléctrica para generar el calor necesario para fundir la varilla de soldadura y los elementos que se están uniendo. Una vez que la varilla de soldadura se funde, se enfría y se solidifica, creando una unión resistente y duradera.

Una de las principales ventajas de la soldadura es que produce una unión fuerte y resistente a la fatiga y las vibraciones. Sin embargo, la soldadura es una técnica más difícil de desmontar si es necesario realizar modificaciones en la estructura. Además, se requiere más habilidad y experiencia que la conexión atornillada, lo que puede resultar en mayores costos de mano de obra.

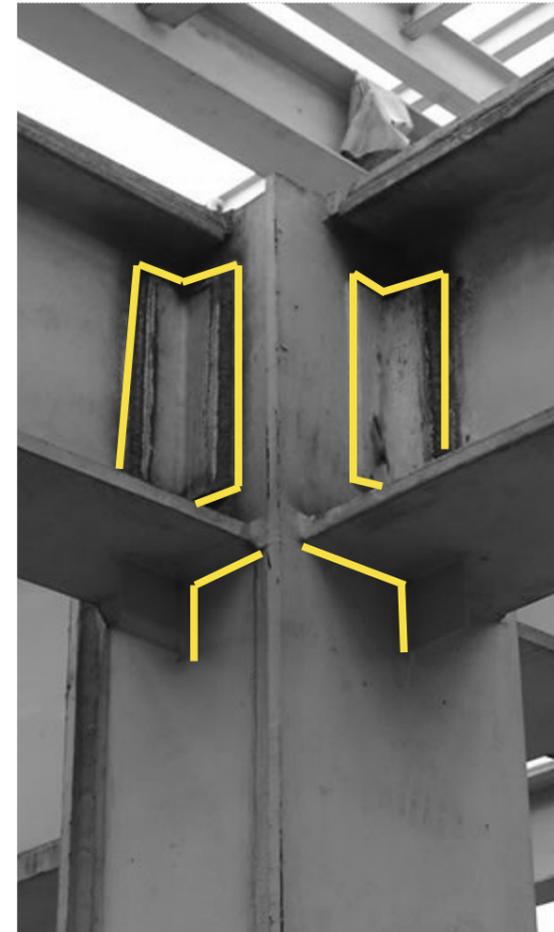


Figura31: Estructura metálica soldada. Fuente: (Ing. Civil, s. f.)

2.07.5 Tiempo

La construcción de edificios es una tarea compleja que involucra una serie de procesos y etapas que deben llevarse a cabo con precisión y cuidado para garantizar la seguridad y la calidad de la estructura. Una de las fases más importantes es el montaje, que puede llevar diferentes tiempos dependiendo del tipo de obra y la práctica utilizada.

Según Rohm, (1977), el tiempo necesario para montar los elementos varía entre 20 y 50 elementos por día, dependiendo del tipo de obra y la práctica utilizada. Esta variación puede estar influenciada por diversos factores, como el tamaño y la complejidad de los elementos, la habilidad y experiencia de los trabajadores, y la disponibilidad de equipos y herramientas adecuados.

Además, Rohm advierte que se necesita un día adicional para el replanteo, que implica la marcación de las líneas de referencia para los elementos estructurales en el terreno, y otro día para la retirada de la grúa y los trabajos finales, que incluyen la limpieza del área de trabajo y la revisión de los elementos instalados.

En la construcción mediante grandes paneles, que es una técnica de construcción que utiliza elementos prefabricados de gran tamaño para acelerar el proceso de construcción, se puede lograr un ritmo de montaje por planta de 3 a 5 días. Sin embargo, este proceso requiere un día adicional para hacer crecer la grúa, lo que implica la instalación de una grúa de mayor altura para poder alcanzar la parte superior de la estructura.

2.07.6 Recomendaciones

Es importante destacar que cada proyecto de construcción con elementos prefabricados puede requerir un método de montaje diferente, por lo que se deben seguir las especificaciones y recomendaciones del fabricante o equipo de construcción para obtener mejores resultados (Novas Cabrera, 2010). Además, es fundamental entender las diferentes condiciones de montaje según el sistema de construcción utilizado, tal como lo destaca Walter Rohm, (1977). En general, el montaje debe realizarse de una vez, sin interrupciones, y se requiere la realización previa de elementos hormigonados in situ.

El conocimiento de los diferentes sistemas de construcción y las condiciones de montaje es fundamental para lograr una construcción exitosa con métodos de prefabricación. Los arquitectos y constructores deben tener en cuenta estas variables para planificar y ejecutar proyectos de construcción eficientes y seguros.

2.08 Ventajas y desventajas de la prefabricación en la arquitectura y la vivienda

La prefabricación como sistema de construcción innovador, al igual que muchos, presenta tanto aciertos como fallas en su aplicación. Por ello, es importante tener en cuenta cuales son las ventajas que este ofrece y las desventajas que puede llegar a tener, a fin de hacer un mejor uso de la técnica y responder de mejor manera a las necesidades.

2.08.1 Ventajas

La técnica de la prefabricación en la construcción de viviendas, presenta muchos beneficios, los cuales se los sintetiza generalmente en 3 aspectos. La primera se refleja en la calidad de los elementos, ya que al ser compuestos generados en una fábrica donde el proceso de construcción es industrializado, y por lo tanto más limpio, ordenado, y con espacios adecuados para la producción y maquinaria especializada, el resultado del prefabricado será de mejor calidad en resistencia y eficiencia (Revista construye, 2023). Además, se obtienen mejores acabados estéticos puesto que la prefabricación ofrece una amplia variedad de formas y tamaños que se adaptan a cualquier gusto (APIVE, 2017).

Otro beneficio que ofrece este sistema es el tiempo de ejecución. Según la Asociación de Promotores Inmobiliarios del Ecuador (APIVE), (2017) la construcción prefabricada puede ser cuatro veces más rápida que los sistemas de construcción tradicionales, por lo tanto mediante este sistema se disminuyen los plazos de ejecución.

Esto se debe a que el sistema responde a una metodología de trabajo elaborada en orden consecutivo, de modo que se sistematiza la construcción y se agiliza el ritmo de obra por la producción en serie (Revista construye, 2023). Finalmente, la ventaja que más nos interesa en nuestro estudio y que este sistema provee, es que mediante su aplicación se economiza la construcción. Se disminuyen los tiempos de producción, y por ende se genera una reducción de gastos fijos a través de un control y uso eficiente de horas de trabajo (Revista construye, 2023). De modo que se estima que la media de reducción de costes es de alrededor del 7% en cualquier tipo de edificación (APIVE, 2017). A estos beneficios se le suman más ventajas como la sostenibilidad, ya que este sistema genera menor cantidad de residuos y en varios casos son 100% reciclables, ya al ser desmontables y tener la capacidad de ser trasladadas a otro lugar para darle un nuevo uso se convierten en elementos reciclables. Es por ello que la prefabricación se convierte en el sistema más sostenible de todos, porque es en el que menos energía se emplea y el que genera menos residuos y emisiones contaminantes (APIVE, 2017).

2.08.2 Desventajas

Por el contrario, estos sistemas también presentan fallos que deben ser mencionados para tener una visión completa del sistema. Para empezar, el concepto de vivienda prefabricada para la población actual muchas de las veces están ligada a la idea de la vivienda emergente que se hacía en el pasado, que debido a la falta de tecnologías y apoyo en ese entonces eran residencias deficientes, generando entonces un rechazo cultural hacia estas por estar asociadas a residencia de mala calidad (Construmatica, s. f.)(Fig 32). Una publicación de la Revista construye, (2023) y Novas Cabrera, (2010) coinciden en que dos de las grandes desventajas de este sistema es el transporte de los elementos y el montaje en el sitio final, esto debido a que es necesario el uso de grandes maquinarias y amplios espacios para la configuración final de las viviendas.

Además, los autores concuerdan en que la última pero no menos importante adversidad del sistema, se presenta generalmente en las uniones y fijaciones entre elementos, ya que por lo regular no se resuelven de la mejor manera, derivando en inconvenientes en la rigidez y en el aislamiento pues se crean puentes térmicos o incluso filtraciones, que anulan los esfuerzos aislantes de los paneles.



Figura 32: Vivienda emergente elaborada con elementos prefabricados. Fuente: (Tom Fisk, s. f.)

2.09 Impacto de la prefabricación en la sostenibilidad y la eficiencia en la construcción

En la actualidad la crisis ambiental se ha intensificado, por lo cual la sostenibilidad entendida según la ONU (1987) como lo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias, se ha colocado como un sistema necesario para el desarrollo próspero de una sociedad (Naciones Unidas, s. f.-b). La arquitectura al igual que en el resto de disciplinas cumple un papel fundamental para ser parte del cambio, ya que la construcción es una de las industrias más contaminantes a nivel mundial. Por lo tanto, durante la etapa de diseño en la arquitectura es posible reducir las emisiones si se toman decisiones de construcción adecuadas. Una solución eficaz brindada por la arquitectura es la construcción prefabricada, debido a que con ella se generan menos desperdicios y se puede incorporar materiales sostenibles como la utilización y reciclaje de elementos (Santos Arango, 2022) (Fig 33).

Junto a la búsqueda de aplicar los recursos más eficientemente en la construcción, surge la incorporación de la eficiencia energética, en la cual según Zhovkva, (2020) lo que se busca es aminorar los recursos, en este caso aquellos que son energéticos; esto se debe a que la energía en sí, se ha situado como la base de la sociedad moderna y es necesaria para su desarrollo. Sin embargo, dicho recurso no es ilimitado, por ello nace el objetivo de aminorar la cantidad de energía que se requiere, tanto para la construcción como para el posterior uso de las instalaciones. Para cumplir con los objetivos de eficiencia en una obra surgen nuevas medidas aplicables a partir del uso de la insolación y ventilación natural, además del uso de fuentes de energía renovables, la aplicación de materiales y diseños arquitectónicos también contribuyen al ahorro de energía.

Conjuntamente a la creciente presión de reducir el uso de recursos materiales y la contaminación, las instituciones y gobiernos se han visto en la necesidad de reducir el impacto ambiental a través de la sustentabilidad mediante normativas y regulaciones. Es así, que entre muchas otras se genera la nueva norma ISO (International Organization for Standardization) 20887 desde el 2020, la cual presenta principios, requisitos y orientación para optimizar las construcciones y su ciclo de vida, además esta promueve la reutilización de componentes de manera efectiva (Global STD, 2020).

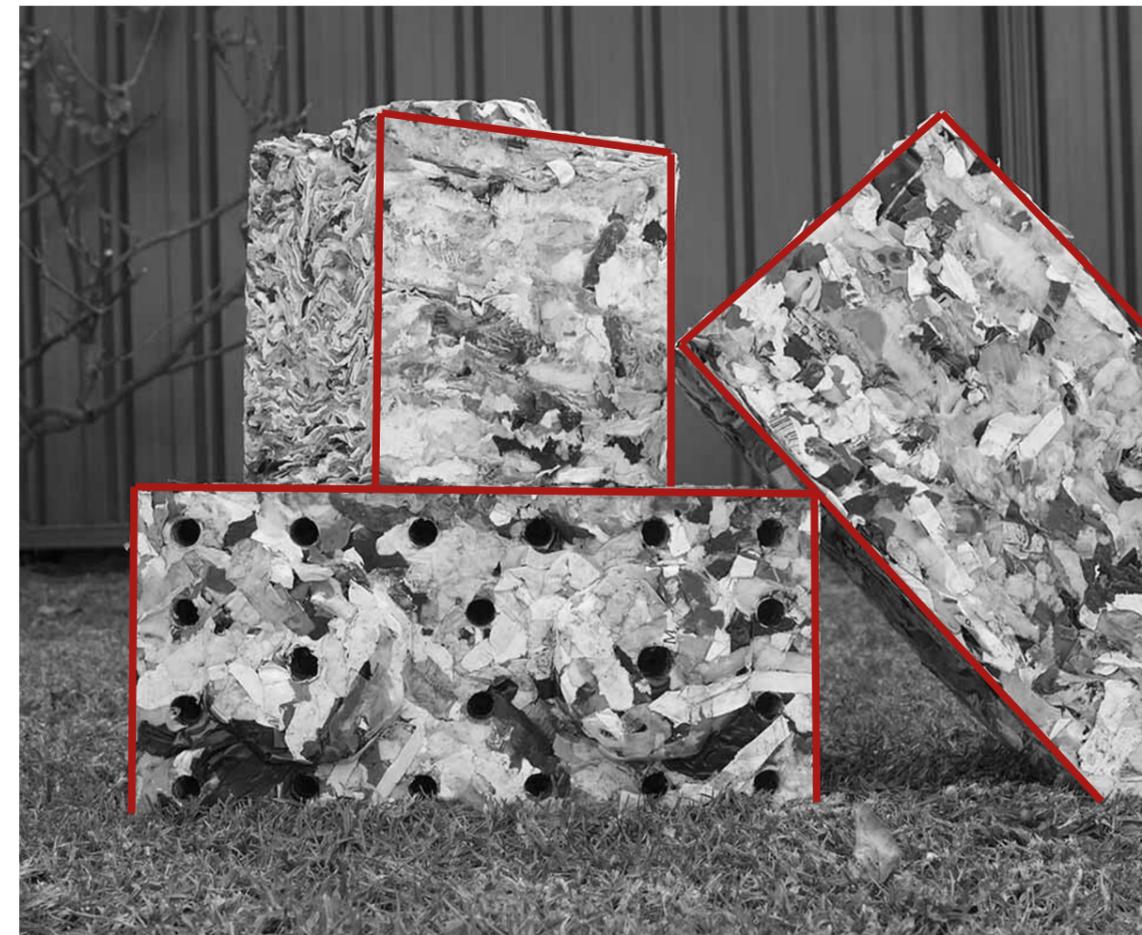


Figura 33: Bloques prefabricados de plástico reciclado . Fuente:(Xataka, s. f.)

2.10 La transmitancia térmica en la construcción



Figura 34: Transmitancia térmica . Fuente:(Maksim Istomin , s. f.)

La transferencia de calor en edificios y estructuras es un tema fundamental para entender la eficiencia energética y habitabilidad de los mismos. La transmisión térmica es un concepto clave en el estudio de este tema, y se refiere a la cantidad de calor que fluye a través de un material en función de su resistencia al flujo de calor. La transmitancia térmica es una medida de esta resistencia y su conocimiento es esencial para diseñar proyectos y construcciones que maximicen la eficiencia energética y el confort térmico de sus ocupantes.

Según Incropera et al., (2006), la transmisión térmica es un concepto crucial en la transferencia de calor en construcciones. Se refiere a la cantidad de calor que fluye a través de un material en función de su resistencia al flujo de calor. La transmitancia térmica es una medida de esta resistencia, y se expresa en unidades de watts por metro cuadrado por grado Celsius ($W/m^2\text{°C}$).

Es importante entender la transmitancia térmica ya que influye en la eficiencia energética de los edificios, lo que a su vez afecta a la cantidad de energía necesaria para mantener una temperatura cómoda en su interior, y por ende, los costos de calefacción y refrigeración (Fig 34).

De igual forma, según el Handbook de ASHRAE, (2017), una transmitancia térmica alta significa que se pierde más calor en invierno y se gana más calor en verano, lo que aumenta los costos de calefacción y refrigeración. Por el contrario, una transmitancia térmica baja reduce estos costos y mejora el confort térmico de los ocupantes. Además, la transmitancia térmica también puede afectar la calidad del aire interior y la durabilidad de los materiales de construcción. Por lo tanto, el conocimiento de la transmitancia térmica es fundamental para entender el comportamiento térmico de los edificios y mejorar su eficiencia energética y habitabilidad.

A lo largo de la historia se han desarrollado técnicas avanzadas para medir y controlar la transmitancia térmica en edificios. Uno de los avances más significativos ha sido el uso de materiales aislantes para reducir la transferencia de calor a través de las paredes, techos y pisos. Además, existen técnicas de construcción eficiente que también contribuyen a reducir la transmisión térmica, como la ventilación natural, el uso de materiales de construcción con alta capacidad de almacenamiento térmico, y la optimización del diseño arquitectónico para aprovechar la luz solar (ISO, 2017).

2.11 Factores que inciden en la transmitancia térmica

La transmisión térmica es un fenómeno que se produce cuando hay una transferencia de calor entre dos objetos o sistemas que se encuentran a diferentes temperaturas. Esta transferencia de calor puede ocurrir de varias maneras, como la conducción, la convección y la radiación (Fig 35). La transmitancia térmica es una medida de la capacidad de un material para transferir calor a través de él, y está influenciada por diversos factores, tales como la conductividad térmica del material, el espesor del mismo, la geometría del sistema, la diferencia de temperatura entre los objetos y las propiedades de la interfaz entre los objetos. A continuación, se analizarán los diferentes factores que afectan la transmitancia térmica y cómo éstos pueden controlarse para mejorar la eficiencia térmica de un sistema.

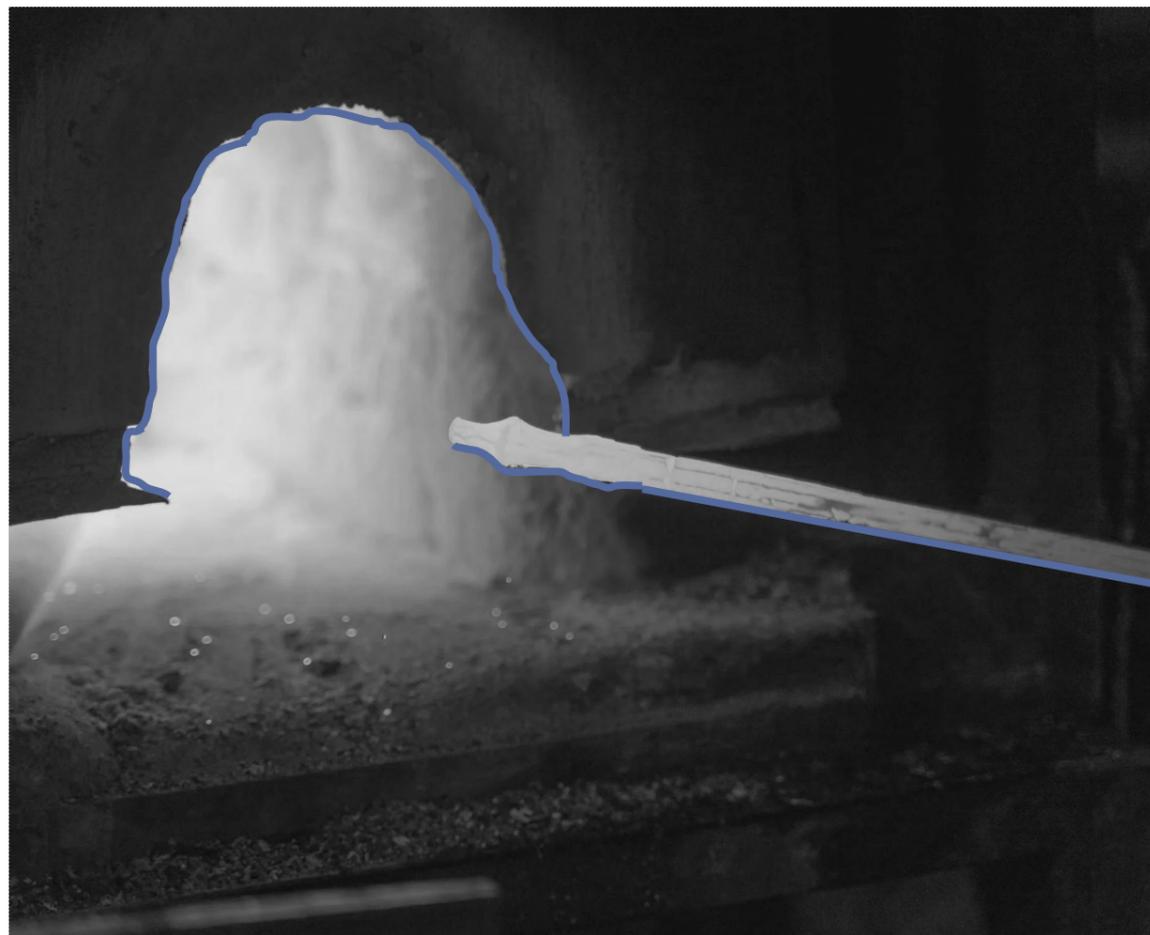


Figura 35: Transferencia de calor en vara metálica . Fuente: (Tima Miroshnichenko, s. f.)

2.11.1 Conductividad térmica de los materiales

La conductividad térmica es un factor crítico que influye en la transferencia de calor en un sistema. Se refiere a la capacidad de un material para transferir calor a través de sí mismo. Los materiales con alta conductividad térmica permiten una transferencia rápida de calor, mientras que los materiales con baja conductividad térmica retrasan la transferencia de calor (Fig 36). Por lo tanto, la conductividad térmica es un factor importante en el diseño y selección de materiales para aplicaciones específicas.

Un estudio realizado por Gómez et al., (2014) demostró que la conductividad térmica de los materiales está determinada por su estructura cristalina y la presencia de impurezas. Los materiales con una estructura cristalina más regular y menos impurezas tienen una conductividad térmica más alta. La conductividad térmica de los materiales también varía con la temperatura. En general, la conductividad térmica disminuye a medida que aumenta la temperatura, según (Zhao et al., 2017).

La selección adecuada de materiales con alta conductividad térmica es importante para aplicaciones que requieren una rápida transferencia de calor, como en los intercambiadores de calor. Por otro lado, los materiales con baja conductividad térmica son adecuados para aplicaciones que requieren un buen aislamiento térmico, como en las paredes de las viviendas. La elección adecuada de materiales también es importante para maximizar la eficiencia energética de los sistemas, ya que los materiales con baja conductividad térmica pueden reducir las pérdidas de calor.



Figura 36: Conductividad térmica del metal . Fuente: (Mehmet Turgut Kirkgoz, s. f.)

2.11.2 Espesor

El espesor de los materiales es un factor fundamental en la transferencia de calor y la eficiencia energética de los sistemas. La transmitancia térmica de un material está íntimamente relacionada con su espesor: a medida que aumenta el grosor de un material, su resistencia térmica aumenta y, por lo tanto, su transmitancia térmica disminuye (Fig 37).

Esto ha sido demostrado por estudios recientes, como el realizado por Yan et al., (2020), que analizó la influencia del espesor de la fibra de vidrio en su conductividad térmica. Los resultados mostraron que a medida que aumentaba el grosor de la fibra de vidrio, su conductividad térmica disminuía, lo que indica una mayor resistencia térmica y una menor transmitancia térmica.

Otro estudio, llevado a cabo por (Zhang et al., 2019), investigó la influencia del espesor de los materiales aislantes en la eficiencia energética de las construcciones. Los resultados indicaron que el espesor de los materiales aislantes tenía un impacto significativo en el consumo de energía necesario para calefaccionar o refrigerar un espacio. En general, a medida que se aumentaba el espesor de los materiales aislantes, se lograba reducir la pérdida de calor en invierno y la entrada de calor en verano, lo que resultaba en un menor consumo de energía y un ahorro de costos.



Figura 37: Espesor de muro. Fuente: (Mehmet cottonbro studio, s. f.)

2.11.3 Diseño

El diseño y la geometría de los materiales son factores que pueden incidir significativamente la transmisión térmica. Un buen diseño y geometría pueden mejorar la eficiencia energética y reducir la cantidad de energía perdida y aumentar la vida útil de los materiales.

Por ejemplo, en los sistemas de aislamiento térmico, la forma y el tamaño de las células pueden afectar la capacidad del material para transferir calor. Si las células son más pequeñas y densas, la transmisión de calor será menor, lo que aumentará la eficiencia del material (Torero, 2006).

La geometría también es importante en la transmisión de calor entre dos fluidos en un intercambiador de calor. La forma y el tamaño de los tubos pueden afectar la distribución de calor en el sistema y, por lo tanto, la eficiencia de la transferencia de calor. Los tubos con una mayor área superficial pueden aumentar la eficiencia de la transferencia de calor y mejorar la eficiencia energética del sistema (Holman, 2011) (Fig 38).

Además, el diseño y la geometría también pueden influir en la resistencia térmica de un material. Por ejemplo, las superficies rugosas pueden aumentar la resistencia térmica de un material y reducir la cantidad de energía que se transfiere a través de él. Esto puede ser útil en aplicaciones donde se desea reducir la transferencia de calor, como en las pantallas de aislamiento térmico (García Rojo et al., 2014).

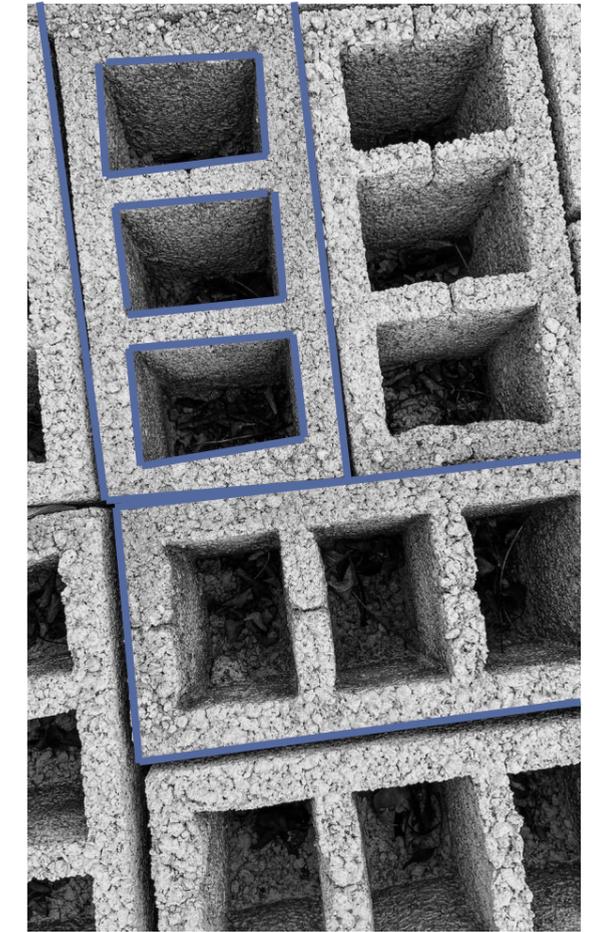


Figura 38: Diseño hueco de bloques. Fuente: (Irina Zhur, s. f.)

2.11.4 Clima

De acuerdo con un estudio realizado por González et al., (2017) la transmitancia térmica de los materiales de construcción es afectada por factores como la temperatura, la humedad y la presión atmosférica. Los autores señalan que estos factores pueden variar significativamente en diferentes zonas climáticas, lo que hace necesario tener en cuenta el clima en el diseño de edificios eficientes energéticamente (Fig 39).

Por otro lado, según una investigación realizada por Barragán, (2018), la orientación del edificio también es un factor crucial en la transmitancia térmica. El autor indica que la orientación hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur puede permitir un mayor aprovechamiento de la energía solar y una reducción en la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración.

Además, un estudio llevado a cabo por Pacheco-Torgal et al., (2019) concluyó que la elección adecuada de materiales de construcción puede tener un impacto significativo en la transmitancia térmica y en la eficiencia energética de los edificios. Los autores señalan que es importante tener en cuenta el clima y las condiciones ambientales en la elección de materiales de construcción para lograr un uso eficiente de la energía y reducir los costos asociados.



Figura 39: Clima cálido. Fuente:(Taryn Elliott, s. f.)

2.11.5 Instalación

La importancia de la instalación para la transmitancia térmica de los edificios ha sido ampliamente estudiada en la literatura académica relacionada con la prefabricación. En particular, se han llevado a cabo investigaciones en el Centro de Investigación en Tecnologías Energéticas y Medioambientales (CITEMA) de la Universidad de La Laguna y en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Sevilla.

El estudio realizado por el CITEMA evaluó la importancia de la instalación adecuada en el rendimiento energético de los edificios y sus resultados se publicaron en el artículo "Efecto de las deficiencias en la envolvente térmica de los edificios en su rendimiento energético". En este estudio, se concluyó que las fugas de aire y las deficiencias en la instalación pueden provocar pérdidas de energía significativas, lo que puede aumentar los costos de calefacción y refrigeración en hasta un 50% (González García et al., 2018) (Fig 40).

Mientras, el estudio realizado por el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Sevilla evaluó la influencia de la instalación en la transmitancia térmica de los edificios. Los resultados de esta investigación se publicaron en el artículo "Influencia de la instalación en la transmitancia térmica de las envolventes opacas". En este estudio, se encontró que la mala instalación puede aumentar la conductividad térmica de las paredes y techos, disminuyendo su capacidad aislante y, por lo tanto, aumentando la demanda de energía para mantener una temperatura adecuada en el interior (Castro et al., 2019). Por otra parte, Arroyo et al., (2018), en su estudio encontraron que la mala instalación especialmente de los elementos prefabricados puede provocar deformaciones en la estructura y la reducción significativa de la eficiencia energética. También concluyeron que, para lograr una buena calidad de instalación, es necesario establecer protocolos de control y aseguramiento de calidad durante la fase de construcción.

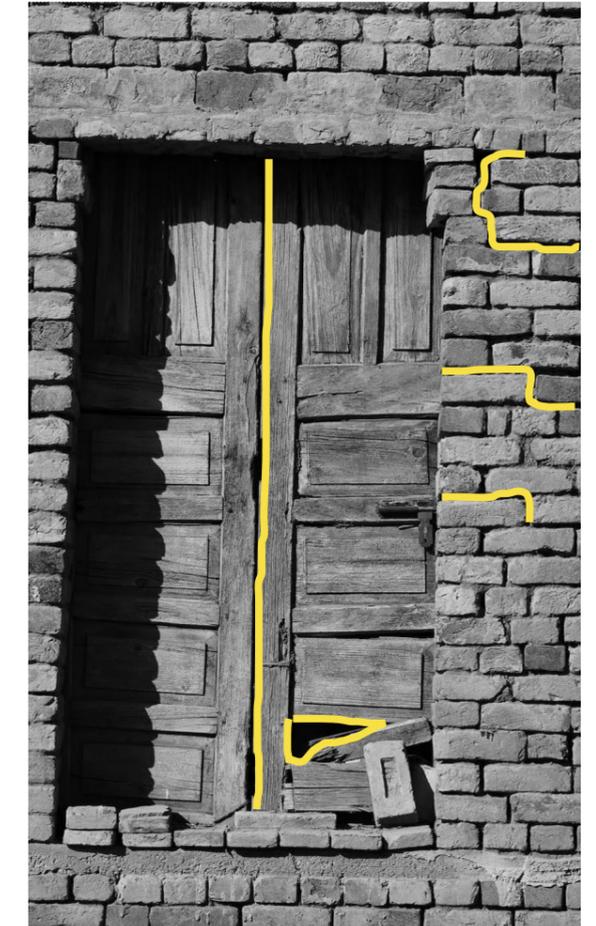


Figura 40: Instalación inadecuada. Fuente:(Dr Photographer, s. f.)

2.12 La transmitancia térmica en la prefabricación



Figura 41: Aislante térmico prefabricado. Fuente:(Alibab, s. f.)

La transmitancia térmica es un parámetro fundamental en el diseño de edificios prefabricados, ya que puede afectar significativamente el rendimiento térmico de la construcción. Según el estudio de Blázquez et al., (2015), la eficiencia energética de los edificios prefabricados se puede mejorar mediante la reducción de la transmitancia térmica de los materiales de construcción y de los elementos prefabricados. Los autores indican que los paneles de pared y techo de los edificios prefabricados pueden ser diseñados con materiales de alta calidad con baja transmitancia térmica para reducir la cantidad de calor que se transfiere a través de ellos (Fig41).

El diseño de los materiales aislantes es otro aspecto importante en la aplicación de la transmitancia térmica en la prefabricación. De acuerdo con el estudio de Alva et al., (2018), la elección de materiales de aislamiento con baja transmitancia térmica puede mejorar significativamente la eficiencia energética de un edificio y reducir los costos de energía a largo plazo. En este sentido, los paneles de aislamiento térmico para paredes, techos y suelos, que se incorporan durante el proceso de fabricación en la fábrica, tienen un papel importante en la reducción de la transferencia de calor en edificios prefabricados.

La aplicación de la transmitancia térmica en la prefabricación también puede ser evaluada mediante la simulación térmica. Según el estudio de Pérez et al., (2016), la simulación térmica numérica de edificios permite evaluar diferentes escenarios de diseño y seleccionar la mejor opción en términos de eficiencia energética. Además, puede ser utilizada para optimizar la selección de materiales de construcción y la configuración del sistema de aislamiento.

2.13 Cálculo de transmitancia térmica

Para evaluar la eficiencia energética de los edificios y mejorar su aislamiento térmico, es necesario realizar un cálculo adecuado de la transmitancia térmica. Según (Alva et al., 2018), se puede calcular la transmitancia térmica de una pared mediante la ecuación de Fourier y las propiedades térmicas de los materiales que la componen. Para ello, se necesita conocer el espesor y la conductividad térmica de cada elemento que forma la pared, así como las condiciones de contorno. La evaluación de la transmitancia térmica permite determinar si la pared cumple con los requisitos necesarios para mantener una temperatura interior adecuada.

Por su parte, la ecuación de Fourier es una expresión matemática que describe la transferencia de calor a través de un medio sólido o líquido. Esta ecuación establece que la tasa de transferencia de calor es proporcional al gradiente de temperatura a lo largo del medio. En términos generales, esta ecuación se expresa como: $Q = -kA (dT/dx)$, donde Q es la cantidad de calor transferido, k es la conductividad térmica del material, A es el área transversal y (dT/dx) es el gradiente de temperatura a lo largo del medio (García, s. f.).

La mejor ecuación para calcular la transmitancia térmica de un muro depende de sus características específicas y del método de construcción utilizado. En general, para calcular la transmitancia térmica de un muro se utilizan diferentes ecuaciones que consideran factores como el espesor y la conductividad térmica de cada elemento, así como las condiciones de contorno y los factores de corrección.

La norma ISO 6946 es una de las ecuaciones más utilizadas para calcular la transmitancia térmica de muros, suelos y techos. Esta norma establece un método para calcular la transmitancia térmica de los elementos constructivos y utiliza la ecuación de Fourier para el cálculo, pero incluye factores de corrección para considerar las condiciones ambientales y las características específicas de los materiales. Esta norma define la transmitancia térmica como la cantidad de calor que fluye a través del elemento constructivo por unidad de tiempo y de superficie, y se expresa en W/m^2K (ISO, s. f.).

La ecuación utilizada por la norma ISO 6946 para calcular la transmitancia térmica de un elemento constructivo es la siguiente:

$$U = 1 / (R_{si} + R_{se} + \sum R_i + R_i)$$

donde:

- **U**: transmitancia térmica del elemento constructivo en W/m^2K .
- **R_{si}**: resistencia térmica de la superficie interior del elemento constructivo en m^2K/W .
- **R_{se}**: resistencia térmica de la superficie exterior del elemento constructivo en m^2K/W .
- **$\sum R_i$** : suma de las resistencias térmicas de las capas intermedias del elemento constructivo en m^2K/W .
- **R_i**: resistencia térmica de la capa de aislamiento térmico del elemento constructivo en m^2K/W .

La norma ISO 6946 no solo permite el cálculo de la resistencia térmica de las capas intermedias de los elementos constructivos, sino que también establece los valores de resistencia térmica para distintos materiales y grosores. Esto permite obtener resultados más precisos y cercanos a la realidad. Sin embargo, el acceso a esta información está restringido para el público en general y se requiere un pago, ya que dicha información suele ser dirigida a especialistas en la materia (ISO, s. f.).

2.14 Normativas de transmitancia térmica

Las Normas ISO (International Organization for Standardization) son un conjunto de estándares técnicos internacionales que establecen requisitos, especificaciones, directrices o características que aseguran la calidad, seguridad y eficiencia de los productos y servicios que se ofrecen en el mercado. A pesar de ser normas voluntarias y no obligatorias por ley, su adopción y aplicación por parte de las empresas y organizaciones puede mejorar su eficiencia y competitividad en el mercado global, así como aumentar la confianza de los consumidores en los productos y servicios que ofrecen (ISO, s. f.).

Debido a su carácter internacional, muchas naciones se han acogido a las Normas ISO para crear sus propias regulaciones, especialmente en campos de gestión de calidad, gestión ambiental y gestión energética. En Ecuador, el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) ha adoptado la Norma ISO 50001:2018 para sistemas de gestión de la energía, que permite a las organizaciones gestionar eficientemente la energía y reducir costos, mejorar la sostenibilidad y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Servicio Ecuatoriano de Normalización, s. f.).

En el campo de la transmitancia térmica, la norma ISO 6946 se aplica para calcular la transmitancia térmica de los elementos constructivos, incluyendo muros, techos y pisos. Con base en la normalización nacional, surge la NEC (Normativa Ecuatoriana de la Construcción, cuyo objetivo es garantizar la calidad y seguridad de las edificaciones, proteger a las personas que las habitan y promover el desarrollo sostenible del país.

La NEC establece los requisitos y estándares mínimos para el diseño, construcción y mantenimiento de edificios en Ecuador. Esta normativa se divide en cuatro áreas: seguridad estructural, guías prácticas de diseño, habitabilidad y salud, servicios básicos y documentos reconocidos. Dentro del grupo de habitabilidad y salud, se encuentra la norma ecuatoriana de construcción referente a la eficiencia energética en edificaciones residenciales. Esta sección específica los requisitos de transmitancia térmica adecuados para envolventes en las diferentes zonas climáticas del país (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023).

En la tabla 2 a continuación se muestran los valores requeridos para paredes sobre el nivel del terreno en la zona climática 3, correspondiente al clima interandino (De et al., s. f.).

Elementos opacos	Habitable				No habitable	
	Climatizado		No Climatizado		Montaje máximo	Valor Mín. de aislamiento
	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento		
Techos	U-0.273	R-3.5	U-2.9	R-0.89	U-4.7	R-0.21
Predes, sobre nivel del terreno	U-0.592	R-1.7	U-2.35	R-0.36	U-5.46	NA
Paredes, bajo nivel de terreno	C-6.473	NA	C-6.473	NA	C-6.473	NA
Pisos	U-0.496	R-1.5	U-3.2	R-0.31	U-3.4	NA
Puertas opacas	U-2.840	NA	U-2.6			
Ventanas	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC
Área translúcida vertical $\geq 45^\circ$	U-3.69	SHGC-0.25	U-5.78	AHGC-0.82	U-6.81	NA
Área translúcida horizontal $\geq 45^\circ$	U-6.64	SHGC-0.36	U-6.64	AHGC-0.36	U-11.24	NA

Tabla 2: Normativa de transmitancia térmica. Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2018)



CASOS DE ESTUDIO

3.01 Selección de referentes base

La presente investigación se centró en la revisión exhaustiva de libros y publicaciones arquitectónicas especializadas en prefabricación, con el objetivo de identificar proyectos de referencia que sirvieran como base para nuestro estudio. En este sentido, se logró identificar ocho proyectos que cumplieran con los criterios de relevancia y pertinencia establecidos.

Para llevar a cabo la selección de estos proyectos, se procedió a su sistematización, de manera que se contara con información base de cada uno de ellos. Posteriormente, se elaboró una ficha de valoración aplicada a cada proyecto, a fin de obtener una valoración numérica en función de los aciertos que presentara cada obra (véase resultados en Anexo 3). La información obtenida se incorporó a dicha tabla de sistematización para facilitar su posterior análisis (Tabla 3).

Número	Nombre	Autor	País	Año	Calificación / 28
1	Prototipo de un sistema constructivo industrializado	Ignacio Rojas Hirigoyen y The Andes House	Chile	2022	22
2	Demountable 6x6	Jean Prouvé	Francia	1944	26
3	Casa loblolly	kierantimberlake associates	USA	2014	19
4	Burghalde Liestal	Stalder y Buol	Suiza	1998	16
5	Modular Dwellings 144	Edgar Blazona	USA	-	14
6	ARKit - Bath house	Craig Chapman	Australia	2005	18
7	Prototipo Blue Sky Homes	02 Arquitectura	USA	2009	17

Tabla 3: Sistematización de referentes arquitectónicos Fuente: Autoría propia

Tras haber obtenido los puntajes correspondientes, se procedió a seleccionar los tres proyectos con las mejores evaluaciones, los cuales serán considerados como referentes oficiales en nuestro estudio. A partir de este punto, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de cada uno de ellos, prestando especial atención a los criterios de prefabricación y transmitancia térmica que presentaban. Asimismo, se examinaron las estrategias utilizadas en cada caso con el objetivo de identificar aquellas que resultaran más relevantes y aplicables a nuestro proyecto.

Durante el análisis, se consideraron factores de sostenibilidad y transmitancia térmica. Se catalogaron estos factores en tres niveles: alto, medio y bajo, ya que existen valores preestablecidos para determinar estos niveles en relación con criterios de contaminación, reciclabilidad, generación de residuos, conductividad térmica y eficiencia energética en la transmisión térmica. La tabla 4 muestra los valores correspondientes a estas variables, los cuales serán útiles en el análisis posterior de los materiales utilizados en la obra.

Variable	Alto	Medio	Bajo
Contaminación	más de 20 kg de CO ₂ / kg de material	10-20 kg de CO ₂ / kg de material	-10 kg de CO ₂ / kg de material producido.
Reciclaje	más 50%	10- 50%	-10%
Residuos	más 1,5 kg/m ²	0,5-1,5 kg/m ²	- 0,5 kg/m ²
Conductividad térmica	Más de 0.5 W/mK	0.1 - 0.5 W/mK	-0.1 W/mK
transmitancia térmica	(U-value) de 0.1 a 0.3 W/m ² K	(U-value) de 0.1 a 0,3 W/m ² K	U-value de 0.6 a 1.0 W/m ² K o más alto

Tabla 4: Rangos de valores para la consideración de un material como bajo, medio o alto. Basado en: "Evaluation of eco-friendly materials for sustainable construction".

Tras haber obtenido los puntajes correspondientes, se procedió a seleccionar los tres proyectos con las mejores evaluaciones, los cuales serán considerados como referentes oficiales en nuestro estudio. A partir de este punto, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de cada uno de ellos, prestando especial atención a los criterios de prefabricación y transmitancia térmica que presentaban. Asimismo, se examinaron las estrategias utilizadas en cada caso con el objetivo de identificar aquellas que resultaran más relevantes y aplicables a nuestro proyecto.

Durante el análisis, se consideraron factores de sostenibilidad y transmitancia térmica. Se catalogaron estos factores en tres niveles: alto, medio y bajo, ya que existen valores preestablecidos para determinar estos niveles en relación con criterios de contaminación, reciclabilidad, generación de residuos, conductividad térmica y eficiencia energética en la transmisión térmica. La tabla 4 muestra los valores correspondientes a estas variables, los cuales serán útiles en el análisis posterior de los materiales utilizados en la obra.

3.02 Análisis de referentes oficiales

3.02.1 Prototipo de un sistema constructivo industrializado

El proyecto diseñado por Ignacio Rojas Hirigoyen y The Andes House tiene como objetivo brindar una solución asequible a la falta de vivienda digna en Chile y Latinoamérica mediante un sistema constructivo modular flexible y eficiente. Utilizando piezas prefabricadas, este modelo se puede ampliar horizontal y verticalmente para adaptarse a diferentes configuraciones y usos, y desmontarse para reutilizarse en otra ubicación. Además, se han utilizado materiales reciclados para ofrecer una solución sostenible y estética en una arquitectura austera. Ubicado en Casablanca, una comuna del litoral central de Chile, el prototipo de 85 metros cuadrados presenta una estructura metálica simple, liviana y resistente, con revestimientos interiores de madera laminada y paneles exteriores metálicos corrugados (Arquitectura Viva, 2022) (Fig 42).



Figura 42: Fotografía de prototipo de un sistema constructivo industrializado . Fuente: (Revista Arquitectura Viva, s. f.)

ANÁLISIS DE PREFABRICADOS

Elementos

El proyecto de prototipo de sistema constructivo industrializado se compone de diversos elementos, tanto estructurales como de envolventes.

En relación a la estructura, se utilizan elementos metálicos para conformar el esqueleto de la vivienda. En la parte inferior, se encuentra la cimentación, la cual se basa en una cimentación aislada de base de hormigón, de la cual emergen cuatro columnas que se extienden diagonalmente para formar una mayor área de soporte. Sobre la cimentación se dispone una retícula metálica para el piso, los muros y el cielo raso. Posteriormente, se coloca la estructura de la cubierta, que se basa en una estructura metálica tipo cercha. Por otro lado, en cuanto a los elementos de envolventes, estos se resuelven mediante paneles para el piso, los muros y el cielo raso, cada uno con sus materiales, disposición y dimensiones adecuadas. Finalmente, para la cubierta se emplean láminas metálicas que actúan como techo impermeable, protegiendo así a la vivienda (Fig 43).

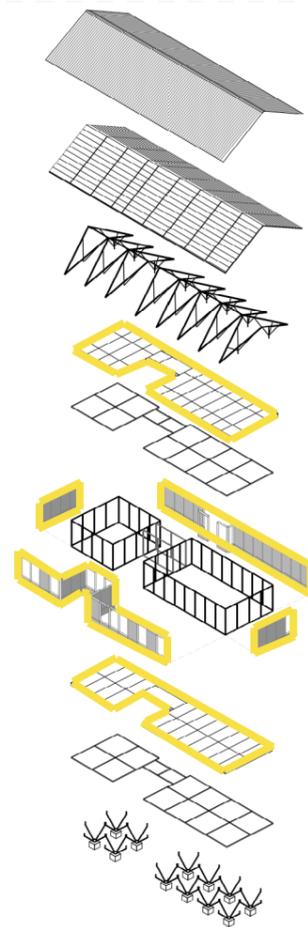


Figura 43: Elementos de envolventes. Fuente: Autoría propia

Modulación y coordinación dimensional

La modulación utilizada en este proyecto se basa en unidades de 1.22x2.44 metros, las cuales son precisamente la dimensión base de los diferentes paneles. Esto facilita la prefabricación de los mismos, ya que al tratarse de medidas estandarizadas y comunes, no es necesario realizar cortes de materiales ni ajustes de medidas mayores.

Cada módulo está compuesto por dos secciones que se mantienen en todas las variantes. En el caso de los paneles de piso y cielo raso, esta división queda oculta, mientras que en el caso de los paneles muros, la división está presente en la terminación. Esta separación es generada por una viga de madera que actúa como soporte autónomo de cada panel, aportando rigidez estructural y generando un impacto visual positivo en las envolventes. Es importante destacar que la dimensión de cada sección corresponde a un cuarto de la dimensión total del módulo, lo que permite una mayor precisión en la fabricación y una mayor eficiencia en la utilización de materiales (Fig 44).

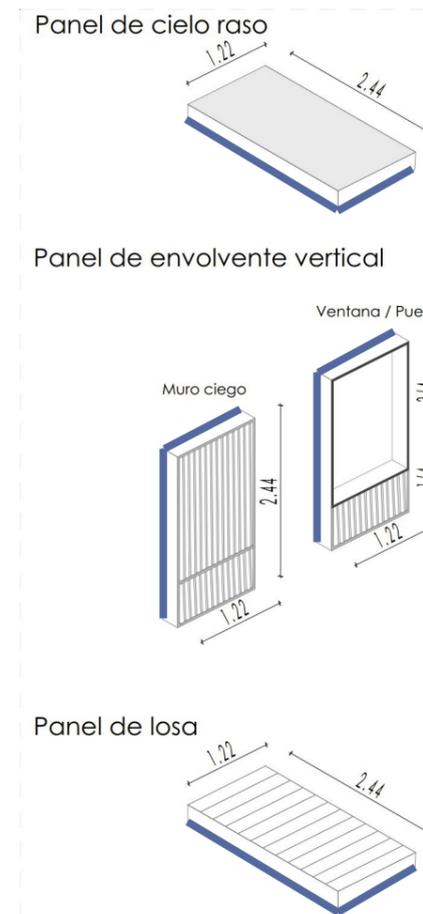


Figura 44: Modulación de los elementos de envolventes. Fuente: Autoría propia.

La modulación empleada en el proyecto de construcción industrializada se encuentra perfectamente coordinada con la estructura y programa de la vivienda, logrando una adecuada relación dimensional entre los módulos y los elementos estructurales, evitando así la generación de residuos innecesarios de espacio y materiales. En particular, la coordinación de los paneles de piso con la estructura del piso y cimientos se logra colocando dos paneles de piso por cada cuadro de la retícula, minimizando así los ajustes y cortes innecesarios (Fig 45).

Además, esta relación modular se encuentra presente en las fachadas, en donde los volúmenes de la vivienda se componen de un número par de paneles verticales, mientras que el pasillo de acceso se compone de tres paneles, generando una ligera variación en la fachada y aportando al aspecto formal del proyecto sin dejar de tener una adecuada coordinación dimensional.

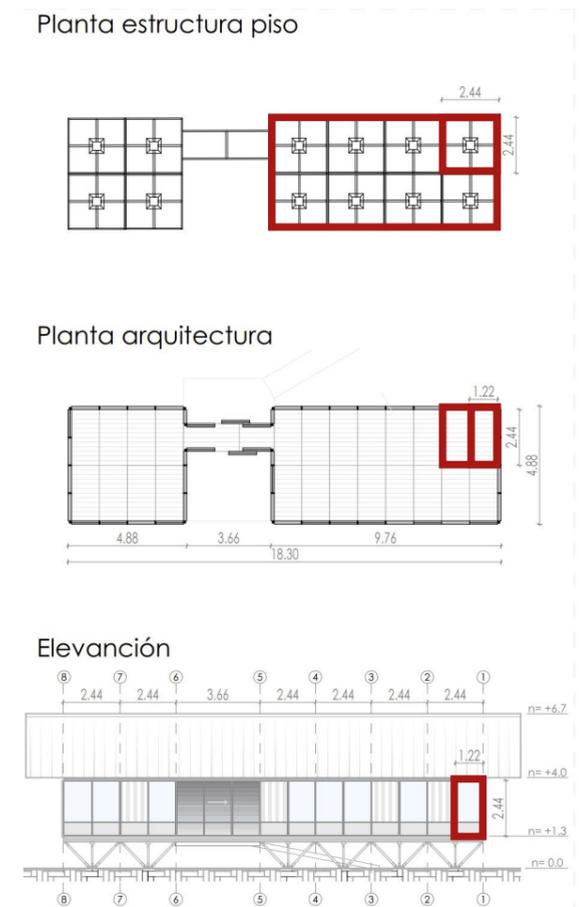


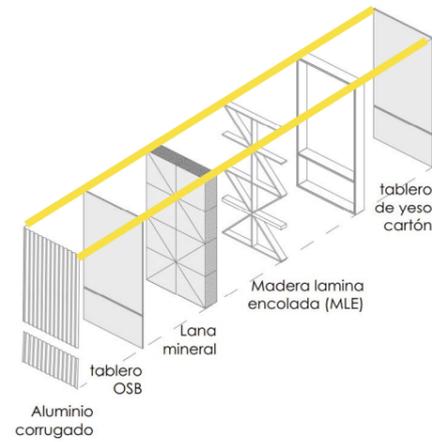
Figura 45: Coordinación dimensional de paneles y estructura. Fuente: Autoría propia.

Uniones

En la fabricación de cada panel de envolvente vertical se utilizan principalmente técnicas de unión mecánica, como el uso de tornillos, remaches o clavos, seleccionados según el material y las propiedades requeridas. En la figura 46 se muestra el orden en el que se unen los materiales mediante uniones mecánicas para formar los paneles de envolvente vertical. Para asegurar la estabilidad y la resistencia de la envolvente, las juntas entre paneles se establecen mediante la aplicación de cuñas de madera que se enlazan y aseguran con tornillos. La disposición y variación de dichas cuñas para las distintas fijaciones se puede observar en las figuras 47-49. Este proceso garantiza la formación de una envolvente sólida y resistente a medida que se unen más paneles.

Es importante destacar que las instalaciones eléctricas, incluyendo el cableado y otros componentes, fueron dispuestas en el interior de la vivienda pero en el exterior de los paneles de la envolvente vertical.

Muro ciego



Ventana / Puerta

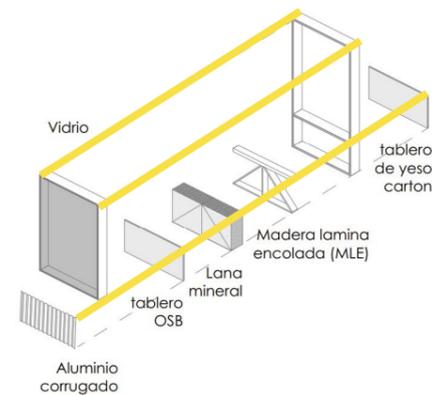


Figura 46: Configuración de paneles de envoltentes verticales. Fuente: Autoría propia.

Sección constructiva

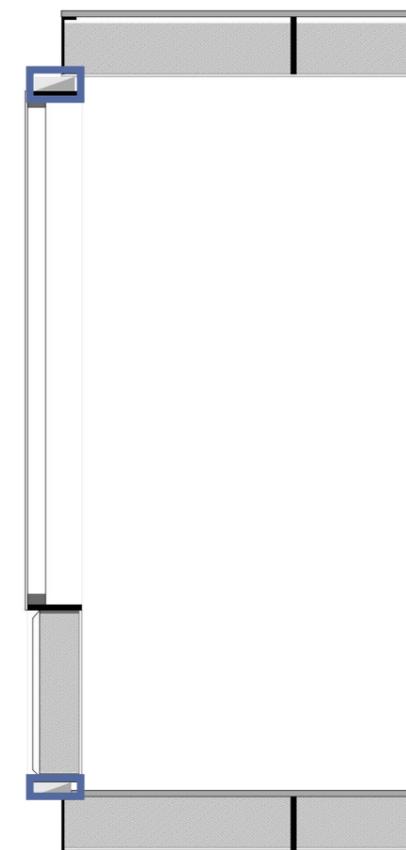


Figura 47: Fijación superior e inferior mediante cuñas. Fuente: Autoría propia.

Detalle constructivo de sección

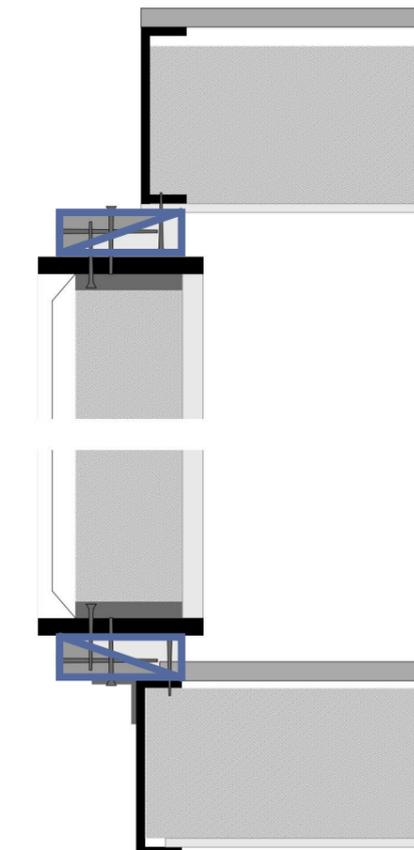


Figura 48: Detalle de fijación superior e inferior mediante cuñas. Fuente: Autoría propia.

Detalle constructivo en planta

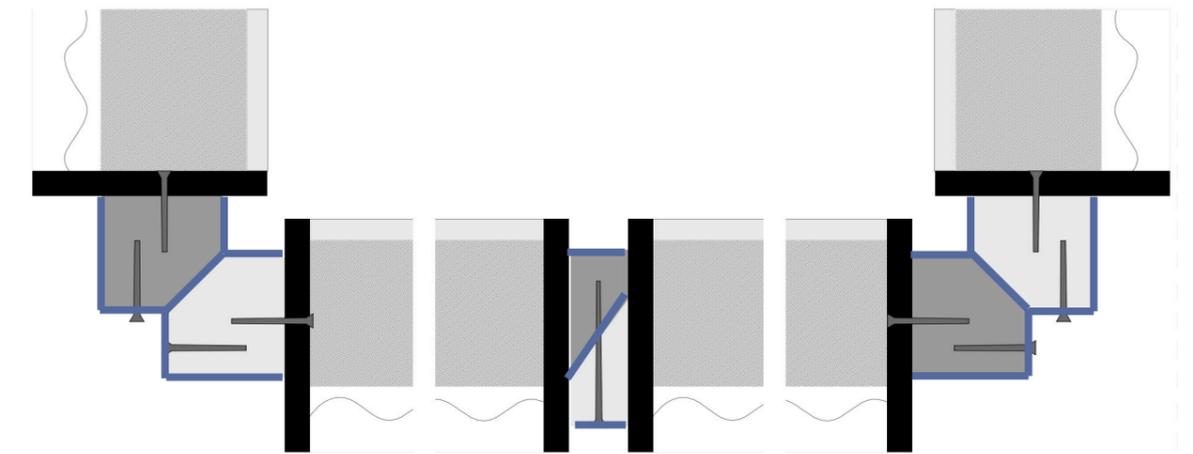


Figura 49: Fijaciones laterales y en esquinas. Fuente: Autoría propia

Proceso constructivo

El proceso de construcción del prototipo de sistema constructivo industrializado se llevó a cabo siguiendo una metodología rigurosa que asegurara la estabilidad estructural y la calidad de la vivienda (Fig50). Los pasos a seguir fueron los siguientes:

1. Se realizó la nivelación del suelo y se colocaron los elementos de cimentación distribuidos en dos partes, destinadas para los dos volúmenes que conforman la vivienda. Esto permitió que se tuviera una base sólida y estable para la construcción.
2. Se colocó la retícula que serviría de soporte para los paneles del piso. Una vez colocada dicha estructura, se instalaron los paneles del piso correspondientes. Estos paneles se han diseñado específicamente para ser desmontables y reutilizables, lo que permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad de la vivienda.
3. Se instaló la retícula de envolventes verticales y se fijaron los paneles de muros, ventanas y puertas. Se utilizó una combinación de diferentes materiales para la construcción de los paneles de pared, incluyendo madera, OSB, espuma de poliestireno y lámina de aluminio corrugado. Este diseño de paneles permite una mayor eficiencia térmica y acústica, y una mayor resistencia a los elementos externos.
4. Se montó la retícula de cielo raso y se colocaron los paneles correspondientes de cielo raso. Estos paneles, al igual que los del piso y las paredes, son desmontables y reutilizables, lo que facilita su mantenimiento y la adaptación de la vivienda a futuros cambios en su uso.
5. Finalmente, se colocó la estructura de la cubierta y se colocaron las láminas de aluminio corrugado para el techo. Este diseño de cubierta permite una mayor eficiencia térmica y acústica, y una mayor resistencia a los elementos externos. La cubierta también es desmontable, lo que facilita el mantenimiento y la adaptación de la vivienda.

Proceso constructivo

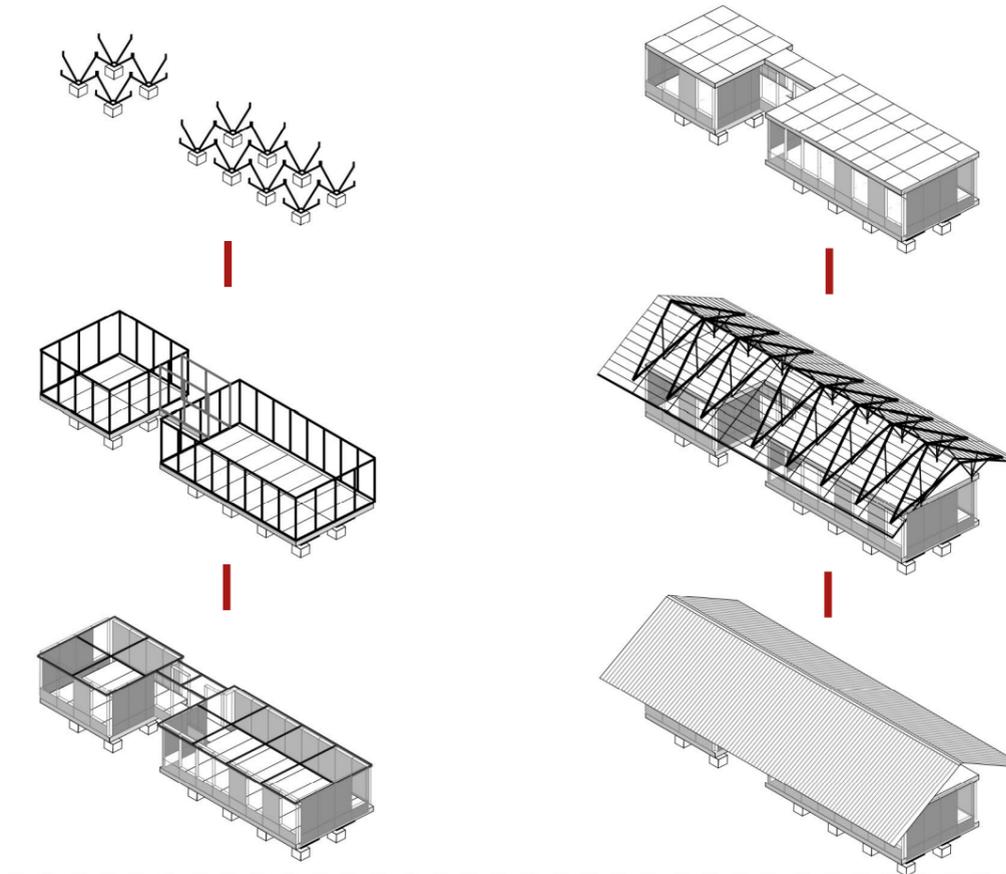


Figura 50: Proceso constructivo. Fuente: Autoría propia

Sostenibilidad

Este proyecto ha sido concebido con un enfoque claro en la sostenibilidad ambiental, con el objetivo de minimizar el impacto en el medio ambiente y fomentar prácticas de construcción sostenibles. Se ha utilizado materiales prefabricados reciclados para reducir el impacto ambiental del proceso de construcción y se ha evitado la ornamentación y el desperdicio en el diseño para minimizar el impacto en el entorno.

Un aspecto clave del proyecto ha sido el sistema de fijación, que permite el desmontaje y reutilización de los elementos al final de su ciclo de vida. De esta manera, se promueve la reutilización y se contribuye a un desarrollo residencial más respetuoso con el medio ambiente (Fig 51).

Además, se ha elaborado una tabla que sistematiza los materiales utilizados en la construcción del proyecto, junto con su nivel de contaminación, posibilidad de reciclaje y nivel de desecho. Esta información evidencia una selección consciente de materiales, implementando aquellos que generen un menor impacto ambiental (Tabla 5).



Figura 51: Objetivos de desarrollo sostenible aplicados. Fuente: (Gobierno de España, s. f.)

SOSTENIBILIDAD				
#	Material	Contaminación	Reciclaje	Residuos
1	Madera laminada encolada	Medio	Medio	Medio
2	Paneles de yeso cartón	Bajo	Medio	Bajo
3	Paneles de fibrocemento	Bajo	Medio	Medio
4	Poliestireno expandido	Alto	Bajo	Medio
5	Lana mineral	Bajo	Bajo	Bajo
6	Aluminio	Alto	Alto	Bajo
7	Vidrio	Bajo	Bajo	Bajo
8	Acero	Alto	Alto	Medio
9	Tablero OSB	Medio	Medio	Medio

Tabla 5: Análisis de sostenibilidad de los materiales aplicados al proyecto. Fuente: Autoría propia

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA

MATERIALIDAD					
#	Material	Espesor mm	Función -Espesor	Conductividad térmica W/mk	Transmitancia térmica
1	Madera laminada encolada	25,4	Estructura principal de paneles	Medio	Medio
2	Paneles de yeso cartón	15	Revestimiento de las superficies interiores de los paneles de paredes y techo	Bajo	Medio
3	Paneles de fibrocemento	15	Revestimiento de las superficies interiores de los baños y la cocina.	Medio	Medio
4	Poliestireno expandido	40	aislamiento térmico y acústico en piso y techo.	Bajo	Bajo
5	Lana mineral	60	aislamiento térmico y acústico en paredes	Bajo	Bajo
6	Aluminio	6	Se usó para el revestimiento exterior de los muros.	Alto	Alto
7	Vidrio	8	Puertas y ventanas	Medio	Alto
8	Acero	10	Estructura principal de vivienda	Alto	Alto
8	Tablero OSB	12,7	Soporte del revestimiento exterior	Medio	Media

Tabla 6: Análisis de la eficiencia energética en cuanto a transmitancia térmica de los materiales empleados. Fuente: Autoría propia

Puentes térmicos

Los puentes térmicos en construcciones son áreas donde se interrumpe la transmisión de calor a través de la envolvente del edificio, lo que puede provocar una pérdida significativa de energía térmica y aumentar los costos de calefacción y refrigeración. Los factores que pueden causar puentes térmicos incluyen interrupciones en el aislamiento, falta de continuidad en la barrera térmica y materiales con alta conductividad térmica en la envolvente del edificio.

En este proyecto, se ha buscado materiales con baja conductividad térmica y se han utilizado paneles de piso a techo modulados con figuras homogéneas para minimizar el riesgo de fallas en las uniones aislantes. Sin embargo, existen factores que pueden comprometer la aislación térmica de la vivienda, como la falta de sellado en la fijación entre paneles y el sistema de puertas deslizantes, que pueden generar puentes térmicos. Además, la falta de contacto directo de la vivienda con el piso y el techo permite la circulación de aire alrededor del volumen, lo que puede afectar la temperatura de confort (Fig 51).

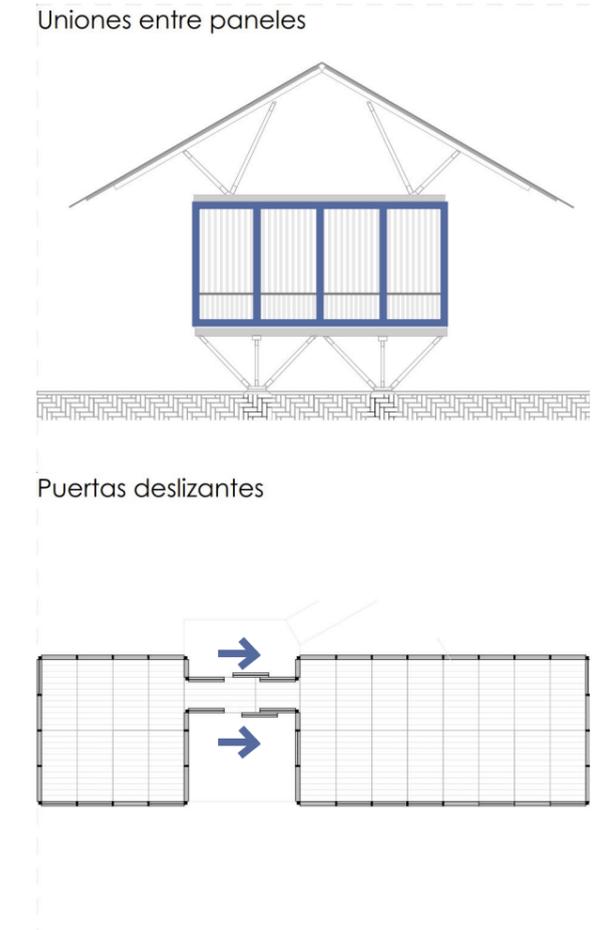


Figura 51: Análisis de posibles puentes térmicos. Fuente: Autoría propia

PRINCIPALES ESTRATEGIAS APLICADAS

- Las uniones mediante juntas secas y cuñas de madera: En esta obra se emplearon juntas secas y cuñas de madera en las uniones, lo que permite una mayor rapidez en el montaje y una menor dependencia de la mano de obra especializada. Además, esta técnica ofrece una mejor resistencia al fuego y al movimiento sísmico (Fig 52).
- La aplicación de aluminio corrugado como material exterior: El aluminio corrugado es un material económico que ofrece una gran impermeabilidad y resistencia a la intemperie. En esta obra se utilizó para la envolvente exterior, lo que permitió evitar filtraciones de agua y reducir los costos de construcción (Fig 53).



Figura 52: Cuñas de madera visibles en la obra Fuente: (Revista arquitectura viva, s. f.)

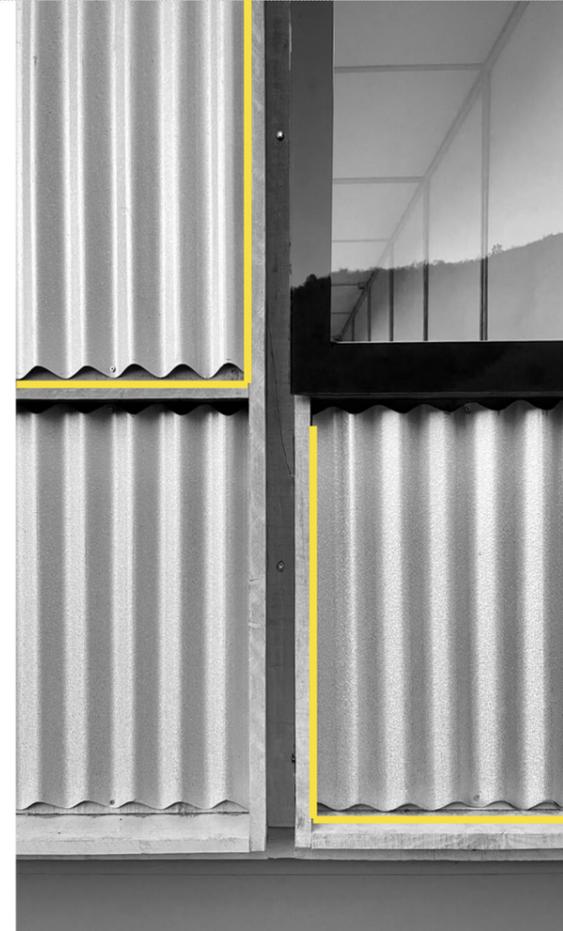


Figura 53: Revestimiento de aluminio en la obra Fuente: (Revista arquitectura viva, s. f.)

- La incorporación de aislante de lana mineral: Este tiene como función principal mejorar la eficiencia energética del prototipo al proporcionar un mayor aislamiento térmico y acústico. Además, al ser un material renovable y reciclable, contribuye a la sostenibilidad del proyecto y a la reducción del impacto ambiental (Fig 54).
- La modulación empleada en los paneles: Los paneles de la obra tienen formas rectangulares y siguen una modulación homogénea, lo que permite una mayor eficiencia y rapidez en el montaje, al mismo tiempo que se reduce el rango de fallas en las uniones (Fig 55).

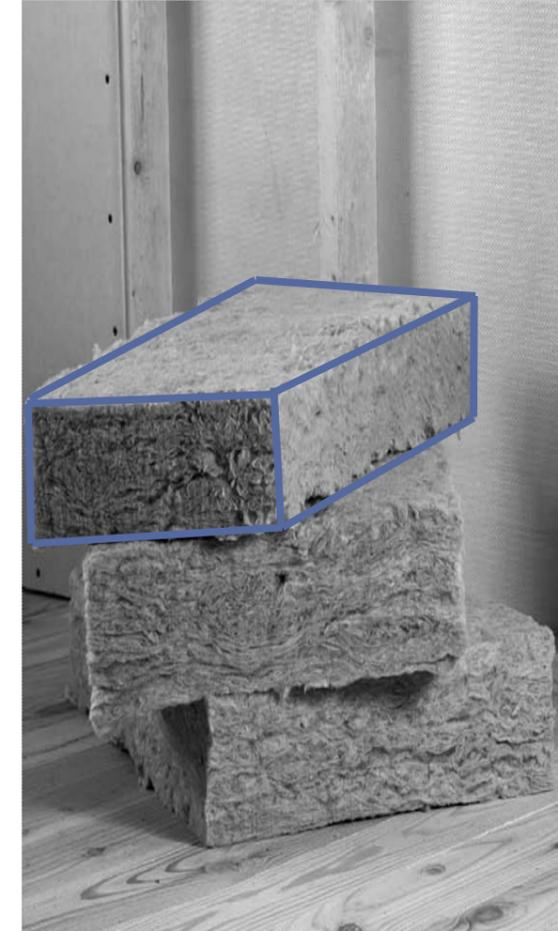


Figura 54: Lana mineral utilizada de aislamiento Fuente: (dta-mexico, s. f.)

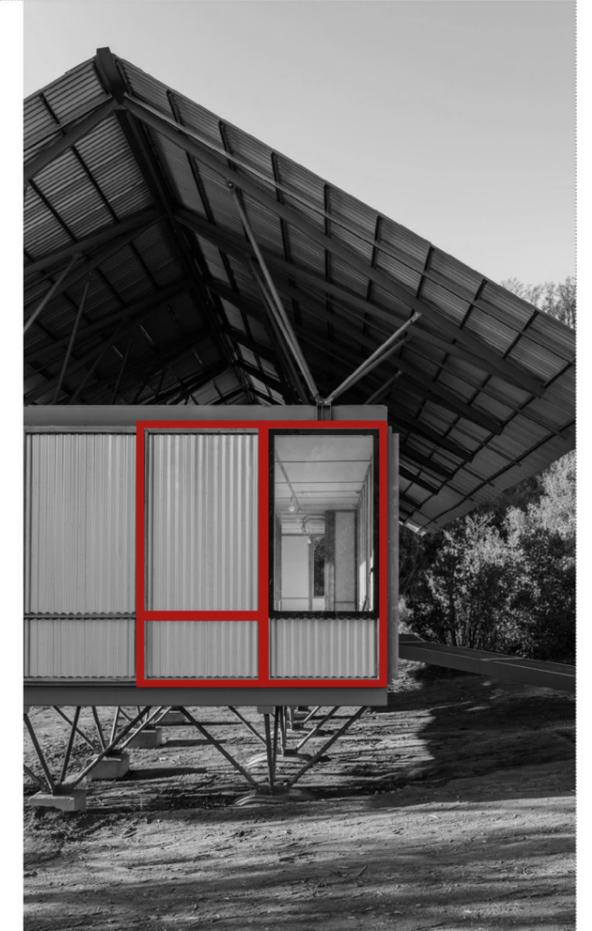


Figura 55: Modulación de paneles de envolventes verticales de la obra. Fuente: (Revista arquitectura viva, s. f.)

3.02.2 Demountable 6x9

La Casa Desmontable 6x9 de Jean Prouvé es una obra arquitectónica icónica que data de la década de 1940. Diseñada por el arquitecto y diseñador francés Jean Prouvé, esta casa es un ejemplo notable de su enfoque innovador en la construcción prefabricada.

Esta se caracteriza por su diseño modular, que permite que las partes de la casa se construyan en una fábrica y luego se ensamblen en el sitio de construcción. El diseño de la casa también cuenta con una estructura de acero y paredes exteriores de paneles de madera, lo que la convierte en una opción resistente y duradera.

La casa está compuesta por diferentes módulos que pueden ser combinados y adaptados para satisfacer las necesidades de cualquier usuario. Su tamaño compacto, de 6x9 metros, la hace fácil de transportar y ensamblar en cualquier lugar. Además, la casa se puede desmontar y volver a montar con facilidad, lo que la hace ideal para situaciones de emergencia o para la construcción rápida de viviendas temporales (Fig 56).



Figura 56: Demountable house 6x6 de Jean Prouvé. Fuente: (Lorraine, s. f.)

ANÁLISIS DE PREFABRICADOS

Elementos

La vivienda de 6x6 está compuesta por una variedad de elementos, tanto estructurales como de envoltente.

En lo que se refiere a la estructura, se han utilizado elementos metálicos para formar tanto la base como la cubierta de la vivienda. En la parte inferior, se encuentra la cimentación, la cual se basa en un entramado metálico con las vigas pandeadas en parte inferior para que solo una parte tenga contacto con el suelo. El elemento estructural principal es la pieza central metálica, que consta de dos columnas y una pequeña viga, y es responsable de soportar la cubierta. La estructura principal de la cubierta con sus correspondientes viguetas se apoya sobre esta pieza central y los paneles de envoltente vertical.

Por otro lado, los elementos de envoltente se resuelven mediante paneles para el piso, los muros y la cubierta, cada uno con sus materiales, disposición y dimensiones propias (Fig 57).

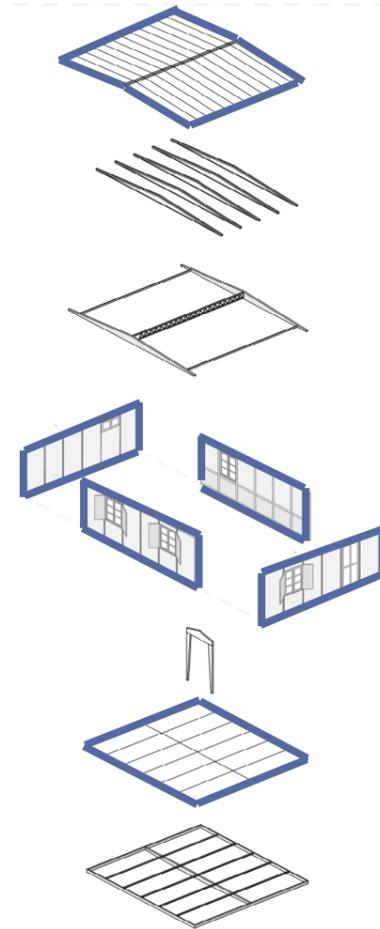


Figura 57: Elementos de envoltentes. Fuente: Autoría propia

Modulación y coordinación dimensional

En el presente proyecto, se implementó una modulación de los paneles que varía en función del tipo de envoltente requerido. Para la cubierta, se utilizaron paneles con dimensiones de 3.5m x 0.72m en los extremos, mientras que en el resto de la cubierta se emplearon paneles de 3.5x0.5m. En cuanto a los paneles de envoltente vertical, se utilizaron volúmenes de 2.25 x 1.00m, mientras que los del piso tienen dimensiones de 1.00 x 3.00m (Fig 58).

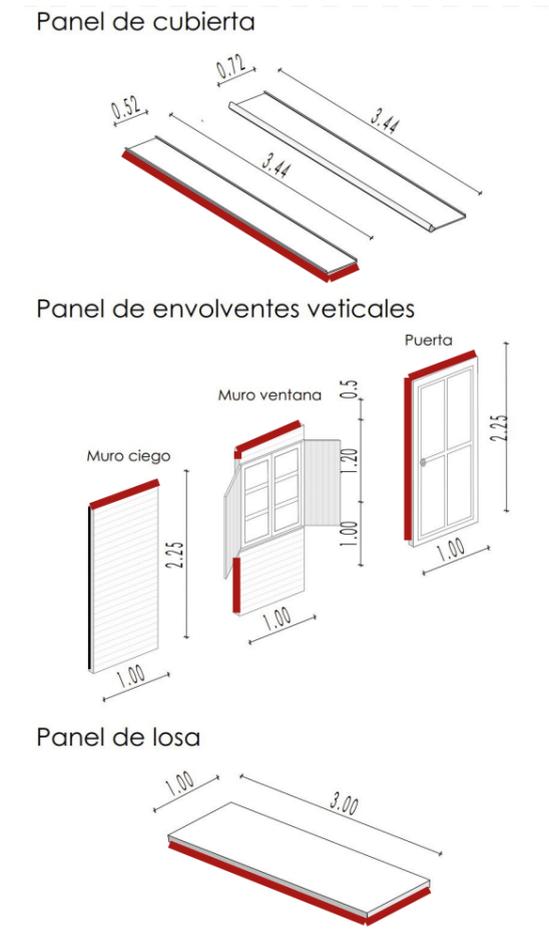


Figura 58: Modulación de los elementos de envoltentes. Fuente: Autoría propia.

En este proyecto, la modulación de los paneles se logra a través de una coordinación dimensional con la estructura, lo que permite que cada panel de piso encaje perfectamente en su espacio correspondiente en la estructura de cimientos. Además, los paneles de envoltente vertical se encajan en una trama reticular definida por la estructura del piso, con una disposición de 3 paneles a lo largo y uno a lo ancho. Esta coordinación dimensional también se refleja en las fachadas, ya que cada una de ellas está compuesta exactamente por 6 paneles verticales, lo que concuerda con el marco de la estructura de 6x6 metros. En consecuencia, a pesar de la amplia variedad de dimensiones entre los paneles utilizados en el proyecto, se logra una relación adecuada y armónica en el momento del montaje para conformar la vivienda de 6x6 metros (Fig 59).

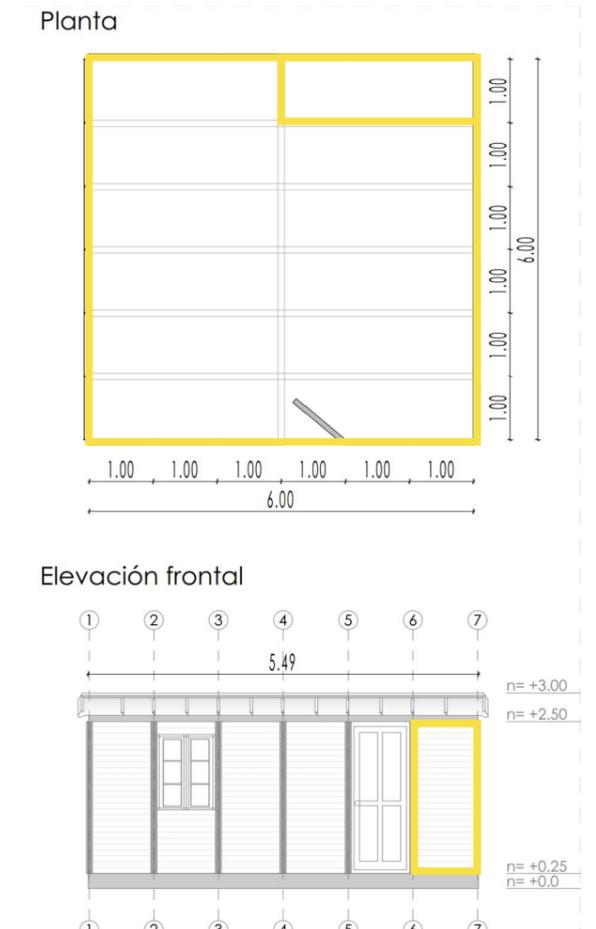


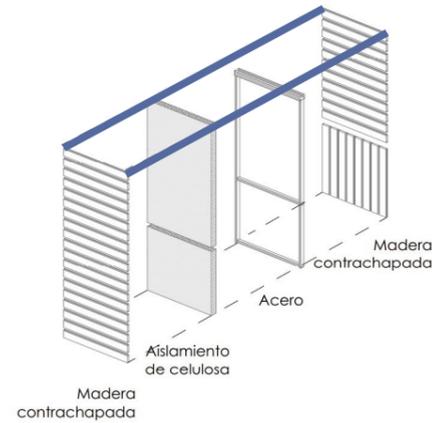
Figura 59: Coordinación dimensional de paneles y estructura. Fuente: Autoría propia.

Uniones

En la elaboración de los paneles se empleó un sistema de machihembrado para conectar las duelas de madera que conforman el revestimiento del panel, y se unieron al resto de los materiales y estructura mediante uniones mecánicas con tornillos y clavos. Para garantizar la resistencia del panel, se incorporó una viga en su estructura para soportar su peso. En la figura 60 se ilustran los materiales, la secuencia y el sistema de unión utilizados para conformar el panel de envolventes verticales.

En cuanto a la fijación entre paneles, se propuso una unión mediante el sistema de machihembrado de los marcos de los paneles y se emplearon juntas de goma en las juntas entre los paneles exteriores para evitar la entrada de agua y minimizar el impacto de los puentes térmicos. En el interior, se unieron y sellaron los paneles a través de tiras de madera que, además de dar un acabado estético favorable, permitían sellar las uniones (Fig 61-62-63).

Muro ciego



Ventana

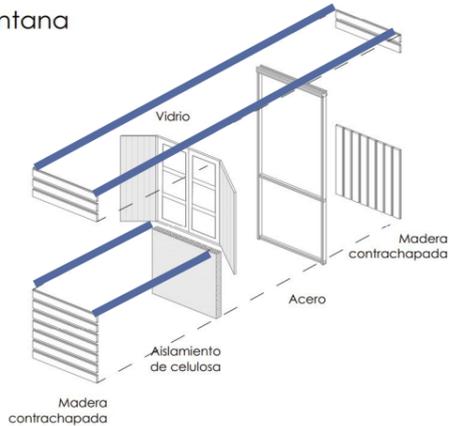


Figura 60: Sistema de machihembrado utilizado para las duelas de envolventes verticales. Fuente: Autoría propia.

Sistema machihembrado

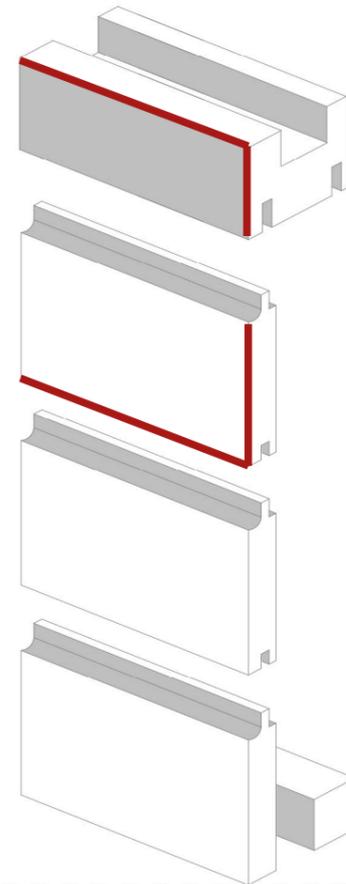


Figura 61: Configuración de paneles de envolventes verticales. Fuente: Autoría propia.

Sección constructiva

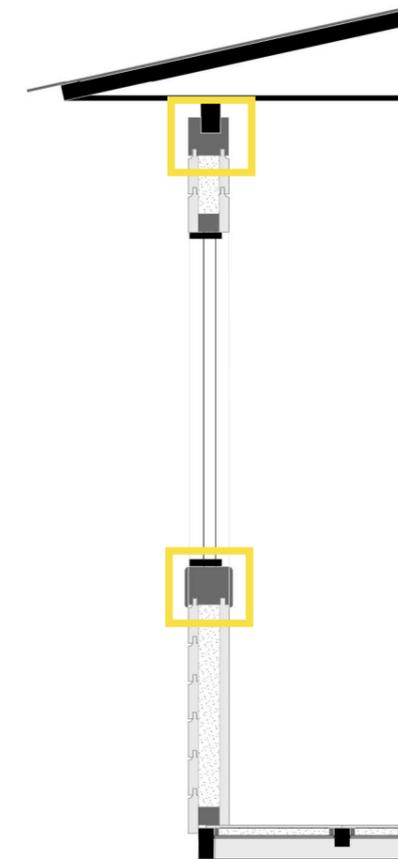
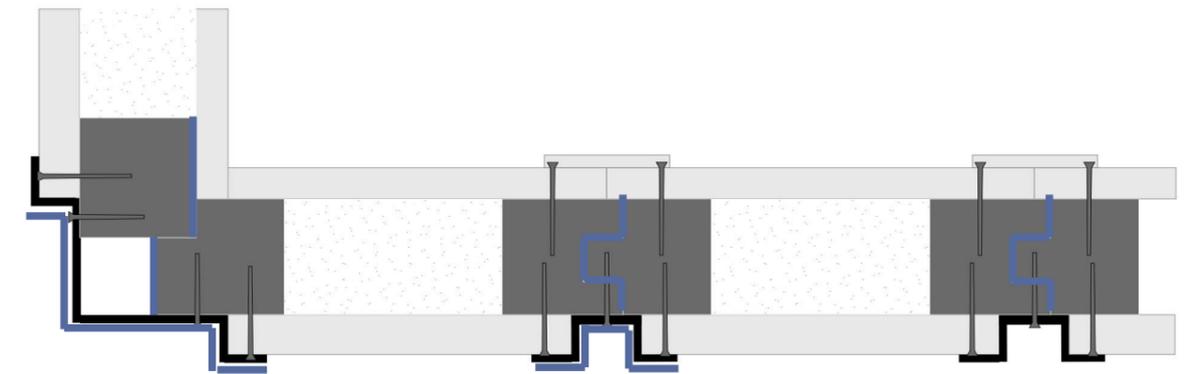


Figura 62: Detalle de fijación superior e inferior mediante cuñas. Fuente: Autoría propia.

Detalle constructivo en planta



Detalle constructivo en planta

Figura 63: Fijaciones laterales y en esquinas. Fuente: Autoría propia

Proceso constructivo

1. Se inicia el proceso constructivo de la vivienda demountable 6x6 de Jean Prouvé nivelando el terreno mediante pequeños elementos niveladores. Luego se procede a instalar la estructura del piso compuesta por vigas de acero que sostienen los paneles de piso, los cuales son encajados cuidadosamente para asegurar la estabilidad y resistencia de la vivienda.
2. Una vez instalado el piso, se coloca la pieza central de la estructura en el centro de la vivienda, a partir de la cual se comienza a levantar la estructura de la cubierta, la cual se va apoyando sobre ciertos paneles de pared previamente instalados. Este proceso se realiza de manera cuidadosa para garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura.
3. Posteriormente, se continúa con la instalación de todos los paneles de pared, los cuales son colocados de manera precisa y segura para asegurar la correcta fijación a la estructura principal. Una vez completada la instalación de los paneles de pared, se procede a instalar las viguetas de la cubierta sobre la estructura principal de la misma.
4. Finalmente, se instalan los paneles de cubierta sobre la estructura, cuidando de machihembrarlos de manera adecuada para asegurar la impermeabilización de la vivienda. Este último paso es crucial para garantizar la protección de la vivienda contra los elementos climáticos y asegurar la durabilidad de la misma.

(Fig 64)

Proceso constructivo

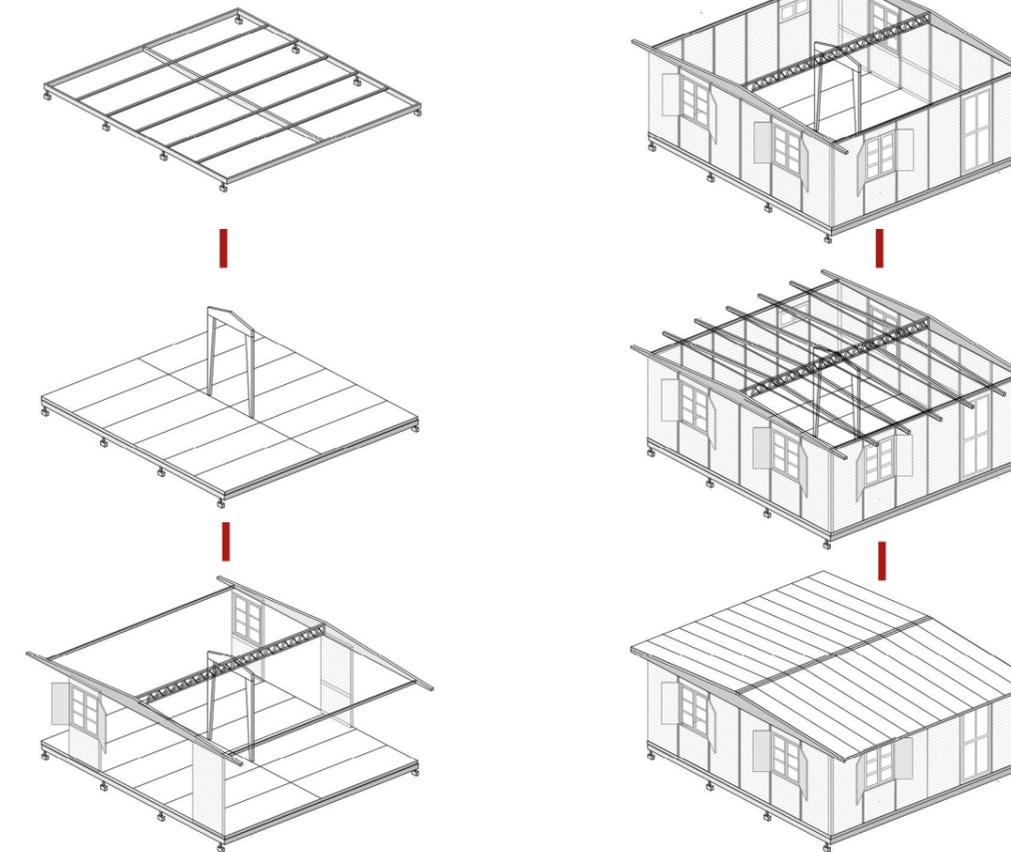


Figura 64: Proceso constructivo. Fuente: Autoría propia

Sostenibilidad

Esta construcción ha sido diseñada con un enfoque claro hacia la sostenibilidad ambiental, lo que implica la utilización de materiales prefabricados reciclados y de bajo impacto ambiental. Este enfoque sostenible se extiende también a los sistemas constructivos empleados, los cuales son poco invasivos y no requieren el uso de maquinaria pesada ni grandes cantidades de energía.

Además, se ha buscado justificar la cantidad de materiales y elementos constructivos utilizados, a fin de reducir el consumo de recursos y mejorar la eficiencia de la casa en términos de sostenibilidad. Es importante mencionar que el sistema constructivo y los materiales empleados permiten el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida, lo que reduce significativamente los residuos y la huella de carbono.

Una tabla de sistematización de los materiales empleados ha sido elaborada, en la cual se valora los niveles de contaminación, posible reciclaje y nivel de desechos generados por cada uno de ellos (véase tabla 7). Dicha tabla evidencia que incluso los materiales han sido escogidos pensando en su sostenibilidad y en su capacidad de reducir el impacto ambiental de la construcción.

SOSTENIBILIDAD				
#	Material	Contaminación	Reciclaje	Desechos
1	Acero	Alto	Alto	Medio
2	Madera contrachapada	Medio	Medio	Medio
3	Vidrio	Bajo	Bajo	Bajo
4	Aislamiento de celulosa	Bajo	Alto	Bajo
5	Paneles solares (opcional)	Bajo	Medio	Bajo

Tabla 7: Análisis de sostenibilidad de los materiales aplicados al proyecto. Fuente: Autoría propia

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA

MATERIALIDAD					
#	Material	Espesor mm	Función	Conductividad térmica W/mk	Eficiencia energética en transmitancia térmica
1	Acero	4	estructura de piso y cubierta	Alto	Medio
2	Madera contrachapada	15	Estructura del panel y revestimiento de las superficies interiores y exteriores	Bajo	Medio
3	Madera contrachapada	10	cerramiento de ventanas	Bajo	Medio
4	Vidrio cámara	7	En las ventanas	Medio	Alto
5	Aislamiento de celulosa	40	aislamiento térmico y acústico en paredes	Bajo	Bajo
6	Paneles solares (opcional)		Energía eléctrica renovable	-	-

Tabla 8: Análisis de la eficiencia energética en cuanto a transmitancia térmica de los materiales empleados. Fuente: Autoría propia

Puentes térmicos

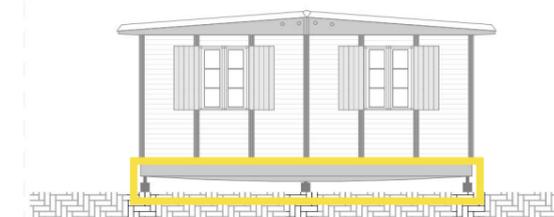
En el proyecto de la casa desmontable 6x6 de Jean Prouvé, se diseñaron estratégicamente los paneles de la envolvente para optimizar la eficiencia energética de la casa mediante la reducción de puentes térmicos. Esto se logró mediante la modulación y forma de los paneles, que fueron diseñados con dimensiones poco convencionales. Aunque el tamaño de los paneles puede afectar la eficiencia del transporte, su capacidad para adaptarse a diferentes entornos y necesidades de los usuarios aumenta su durabilidad y eficiencia a largo plazo.

La repetición de formas geométricas simples en los paneles permitió uniones rectas de piso a techo, lo que resultó en una fácil sellabilidad de las mismas y redujo la entrada de aire y la pérdida de calor. Para asegurar una buena aislación, se sellaron las uniones mediante juntas de goma. Estas juntas aislantes entre los paneles exteriores evitaron la creación de puentes térmicos y redujeron la entrada de agua.

El sistema de juntas de goma se colocó en las ranuras previstas en los perfiles de aluminio, asegurando una buena adherencia y estanqueidad en las uniones. Las ventanas y puertas de doble vidrio, con marcos de aluminio y rotura de puente térmico, contribuyeron a mantener una temperatura constante dentro de la casa y redujeron la pérdida de calor a través de los marcos. Además, las ventanas contaron con un sistema de cerramiento de madera contrachapada para una mayor aislación.

Sin embargo, existen elementos que pueden afectar la eficiencia energética de la casa. Por ejemplo, la cubierta de acero galvanizado tiene un alto nivel de transmisión térmica y no se incorporó ningún aislante que la minimice, lo que permite que el frío o el calor ingresen a través de la cubierta. Asimismo, en los paneles del piso no se utilizó suficiente aislamiento, lo que permite que se transmita la temperatura del suelo. Estos puntos podrían mejorar para aumentar aún más la eficiencia energética de la casa (Fig 65).

Paneles de losa



Paneles de cubierta

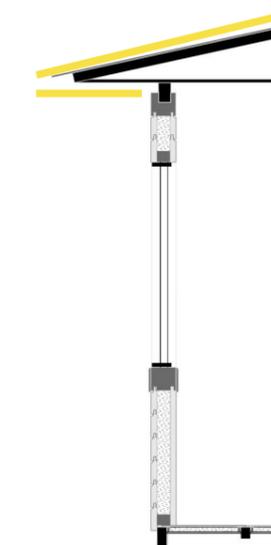


Figura 65: Análisis de posibles puentes térmicos. Fuente: Autoría propia

PRINCIPALES ESTRATEGIAS APLICADAS

- Uniones de machihembrado: En este proyecto se utilizaron uniones de machihembrado en los elementos estructurales para asegurar una conexión sólida y resistente. Estas uniones consisten en un sistema de encaje de las piezas, lo que permite una distribución uniforme de las cargas y una mayor rigidez. Además, este tipo de unión es fácil de instalar y no requiere el uso de elementos de fijación adicionales (Fig 66).
- Fijaciones de goma: Para lograr una buena estanqueidad en las uniones de los elementos constructivos, se emplearon fijaciones de goma en los puntos de contacto. Estas fijaciones de goma tienen una excelente capacidad de absorción de vibraciones, lo que contribuye a reducir el ruido y las vibraciones en la estructura. Asimismo, este material es resistente a la intemperie y a la acción de los rayos ultravioleta, lo que garantiza una mayor durabilidad (Fig 67).

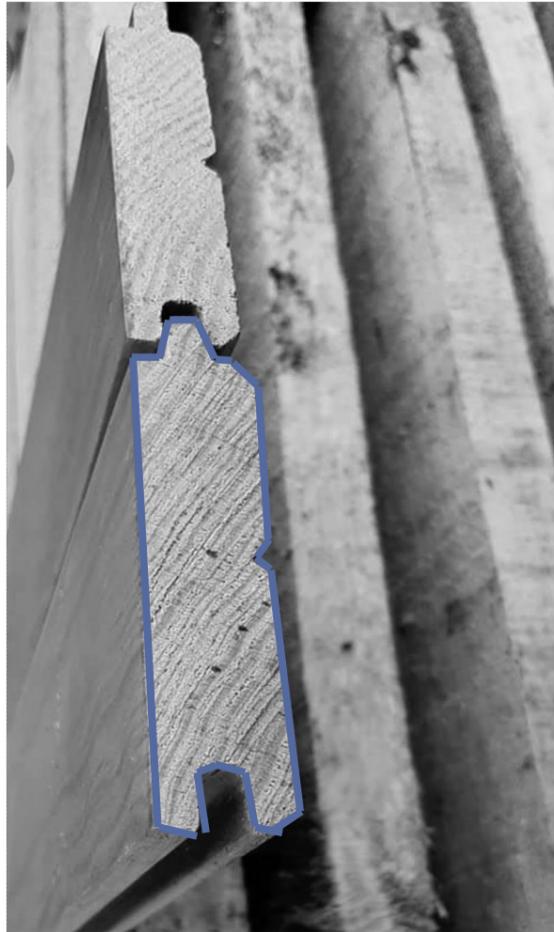


Figura 66: Sistema de machihembrado empleado en la obra.
Fuente: Industria Maderera Soria

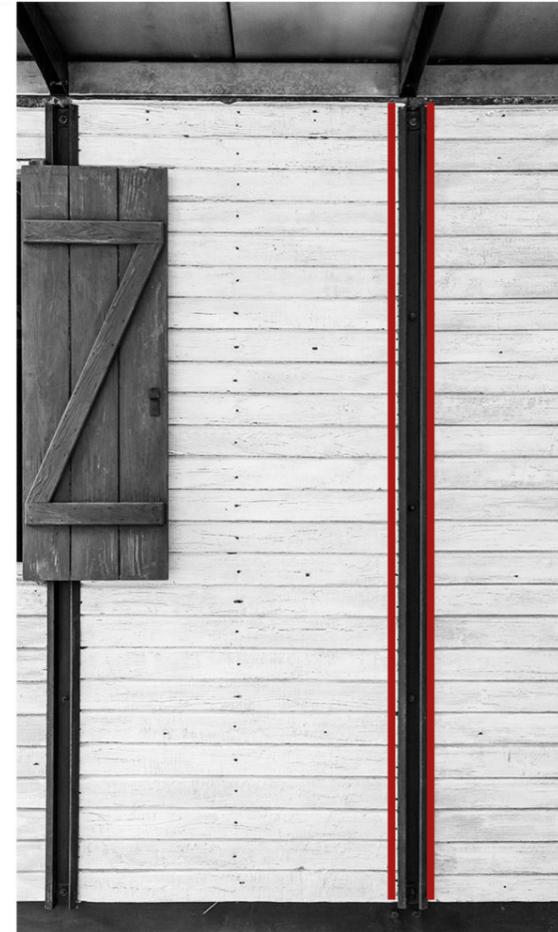


Figura 67: Juntas de gomas externas empleadas en la obra.
Fuente: Rich Stapleton

- Cerramiento de ventanas: En la obra se utilizó un sistema de cerramiento de ventanas con marcos de aluminio y doble vidrio, lo que proporciona un alto grado de hermeticidad y una excelente eficiencia energética. El uso de marcos de aluminio con rotura de puente térmico evita la transferencia de calor entre el exterior y el interior, mientras que el doble vidrio reduce la pérdida de calor y aumenta el aislamiento acústico (Fig 68).
- Doble vidrio en ventanas: La elección de vidrios dobles en las ventanas proporciona un mayor aislamiento térmico y acústico, lo que contribuye a mejorar la eficiencia energética de la vivienda. Además, el uso de vidrios dobles reduce la condensación en el interior de las ventanas y aumenta la seguridad al mejorar la resistencia a roturas y a la intrusión (Fig 69).



Figura 68: Cerramiento tipo batiente para ventanas de la obra.
Fuente: (Rich Stapleton, s. f.)

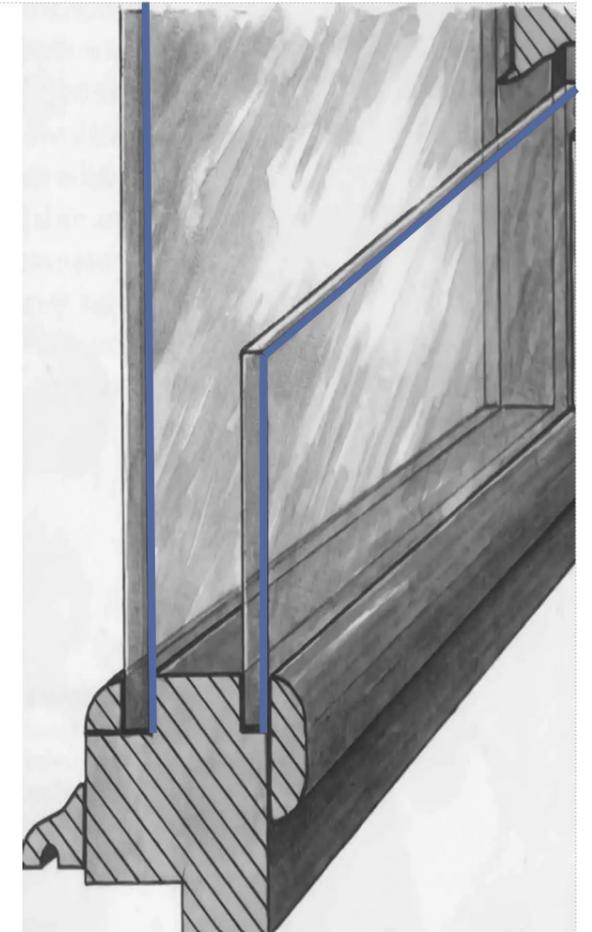


Figura 69: Vidrio cámara empleado en ventanas de la obra.
Fuente: (Esmihobby, s. f.)

3.02.3 Casa Loblolly

La casa Loblolly, ubicada en Taylors Island, Maryland, es una obra arquitectónica innovadora que representa un paso importante en la construcción de viviendas sostenibles. Diseñada por la firma KieranTimberlake, la casa Loblolly se destaca por su uso de materiales y tecnologías de construcción eficientes y estratégicos, lo que minimiza su impacto ambiental. La casa está construida a partir de sistemas prefabricados de paneles de pared, paneles de piso y de cubierta, lo que permite un montaje y desmontaje más rápido y sencillo, y una posible reutilización o reciclaje de los materiales en el futuro. Además, la casa cuenta con una gran cantidad de tecnologías de ahorro de energía, como paneles solares, calefacción radiante y sistemas de recuperación de agua de lluvia, lo que la convierte en una vivienda energéticamente eficiente y sostenible. La disposición de la casa también está diseñada para maximizar las vistas y la luz natural, creando un espacio interior luminoso y aireado. En resumen, la casa Loblolly es una muestra de arquitectura sostenible y un ejemplo de cómo la innovación en la construcción puede conducir a una mayor eficiencia energética y una menor huella ambiental (Fig 70).



Figura 70: Fotografía Loblolly house by Kieran Timberlake. Fuente: (Peteeer Aaron, s. f.)

ANÁLISIS DE PREFABRICADOS

Elementos

La casa Loblolly, al igual que los anteriores proyectos arquitectónico, está compuesta por una estructura y elementos que juntos conforman la obra. En cuanto a la estructura de la casa, se optó por utilizar grandes columnas de troncos de árbol y sobre ellas una base de madera, lo que permite una adecuada distribución de cargas de la vivienda. Encima de esto, se instalaron perfiles metálicos que conforman una estructura auxiliar de soporte para la formación de la vivienda a partir de paneles de piso, techo y paredes.

Una vez instalada toda la parte estructural, los elementos toman lugar. En el caso de la casa Loblolly, se utilizan paneles de losa, de envolvente vertical y finalmente de cubierta. Los paneles de losa conforman el piso, mientras que los paneles de envolvente vertical forman las paredes y sirven para encerrar el espacio interior. La cubierta está conformada por paneles que protegen el interior de la vivienda de los elementos naturales (Fig 71).

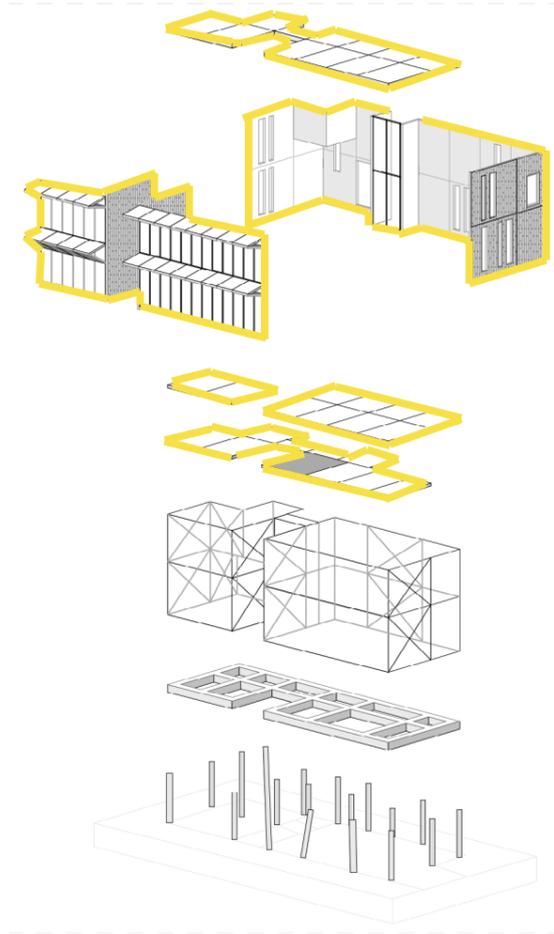


Figura 71: Elementos de envolventes. Fuente: Autoría propia

Modulación y coordinación dimensional

La vivienda en cuestión presentó un diseño que contempla el uso de paneles de grandes dimensiones para cubrir las envolventes, minimizando la cantidad de paneles y evitando excesivas uniones. Concretamente, los paneles de pared tienen una dimensión estándar de 2.8x4.1 metros, tanto para muros ciegos como para muros con ventanas. En el caso del muro cortina, el módulo de ventana mide 0.7x4.1 metros y el cerramiento que cubre las ventanas posee una medida de 1x4.10 metros.

Por su parte, los paneles de piso y cubierta presentan dos modulaciones estándar: una de 2.8x3.8 metros y otra de 2.8x3.00 metros, y se unen para formar las losas siguiendo la estructura de perfiles. Se buscó, de esta manera, garantizar un eficiente uso de materiales y maximizar la economía de recursos, al tiempo que se garantizaba la estabilidad y la funcionalidad del conjunto arquitectónico (Fig 72).

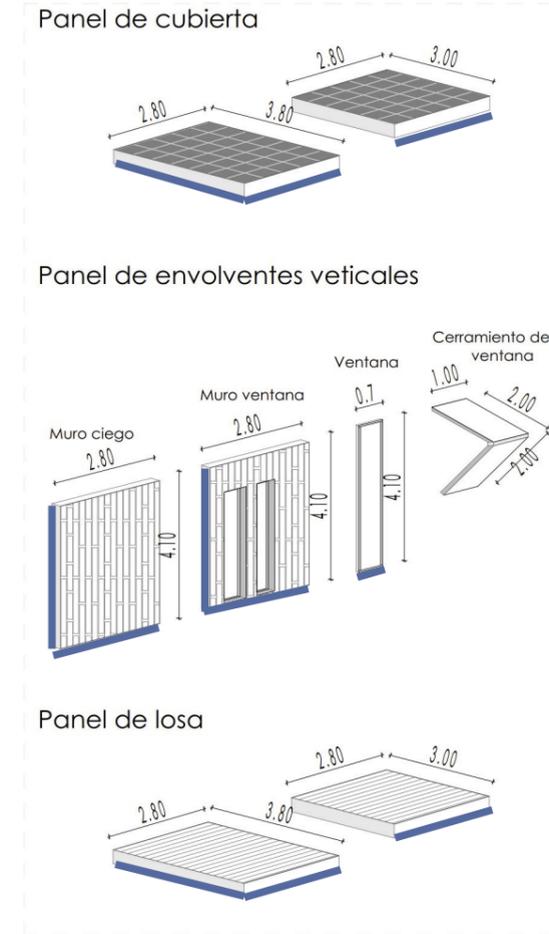


Figura 72: Modulación de los elementos de envolventes. Fuente: Autoría propia.

La disposición de los elementos envolventes en esta obra sigue un orden estratégico, fundamentado en la estructura, lo que genera una coordinación modular que permite una perfecta adaptación de las dimensiones a la estructura y al programa de la vivienda. A pesar de que la estructura aparenta ser compuesta por columnas dispuestas de manera aleatoria para simular la apariencia de troncos de bosque, en realidad, estas siguen una lógica que conforma una trama con ejes claros que facilitan la construcción y la colocación posterior de las envolventes (Fig 73).

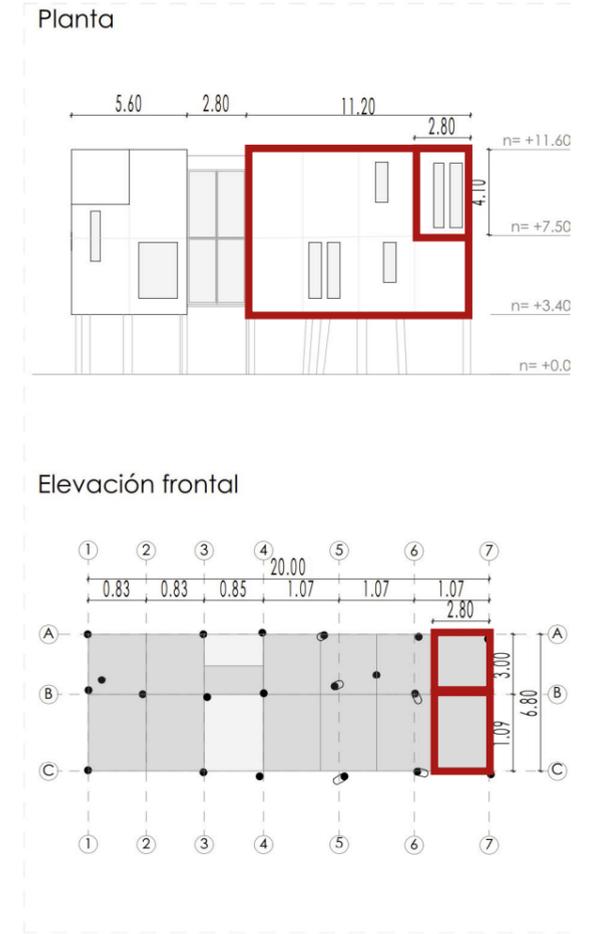


Figura 73: Coordinación dimensional de paneles y estructura. Fuente: Autoría propia.

Uniones

En este proyecto, los paneles se construyeron mediante uniones mecánicas entre los materiales, siguiendo un orden específico para garantizar la eficiencia de cada uno de ellos, como se puede observar en la Figura 5 que muestra el orden de los materiales para formar los paneles de muro ciego y de muro con ventana. Para unir los paneles entre sí, se utilizó la estructura de perfiles metálicos previamente instalada, lo que permitió una modulación ordenada y uniones más rígidas. Además, este tipo de fijación permite desmontar los paneles en caso de ser necesario para reparaciones o para una reubicación del proyecto (Fig 74).

Este sistema de fijación se implementó debido a que los perfiles también son prefabricados, lo que minimiza la variación dimensional y permite que encajen perfectamente entre sí para formar esquinas y divisiones. Por tanto, son elementos de fácil instalación que no requieren mano de obra especializada. Además, al ser de acero, aportan una mayor firmeza a las envolventes. Es importante destacar que la elección de estos materiales y la forma de ensamblaje fueron fundamentales para la optimización del proceso constructivo y para asegurar la calidad de la obra final (Fig 75-76).

Es de relevancia destacar que las instalaciones eléctricas correspondientes a la iluminación, piso radiante y detección de humo fueron incorporadas en el interior de los paneles. Por lo tanto, para la instalación de los mismos en la estructura, se dispuso que estos se colocaran en el exterior de la misma, con el fin de permitir una continuidad óptima entre los paneles y, consecuentemente, facilitar la circulación directa del cableado correspondiente.

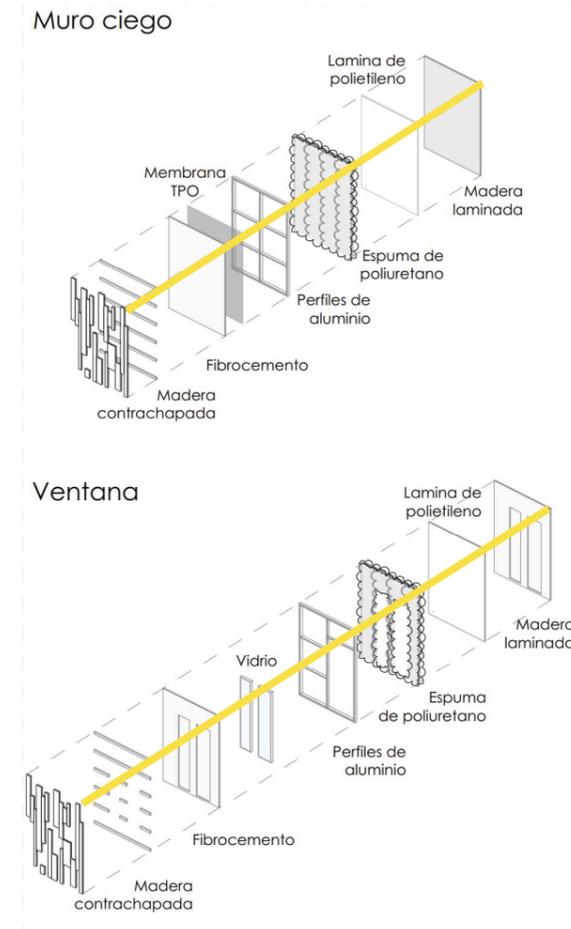


Figura 74: Configuración de paneles de envolventes verticales. Fuente: Autoría propia.

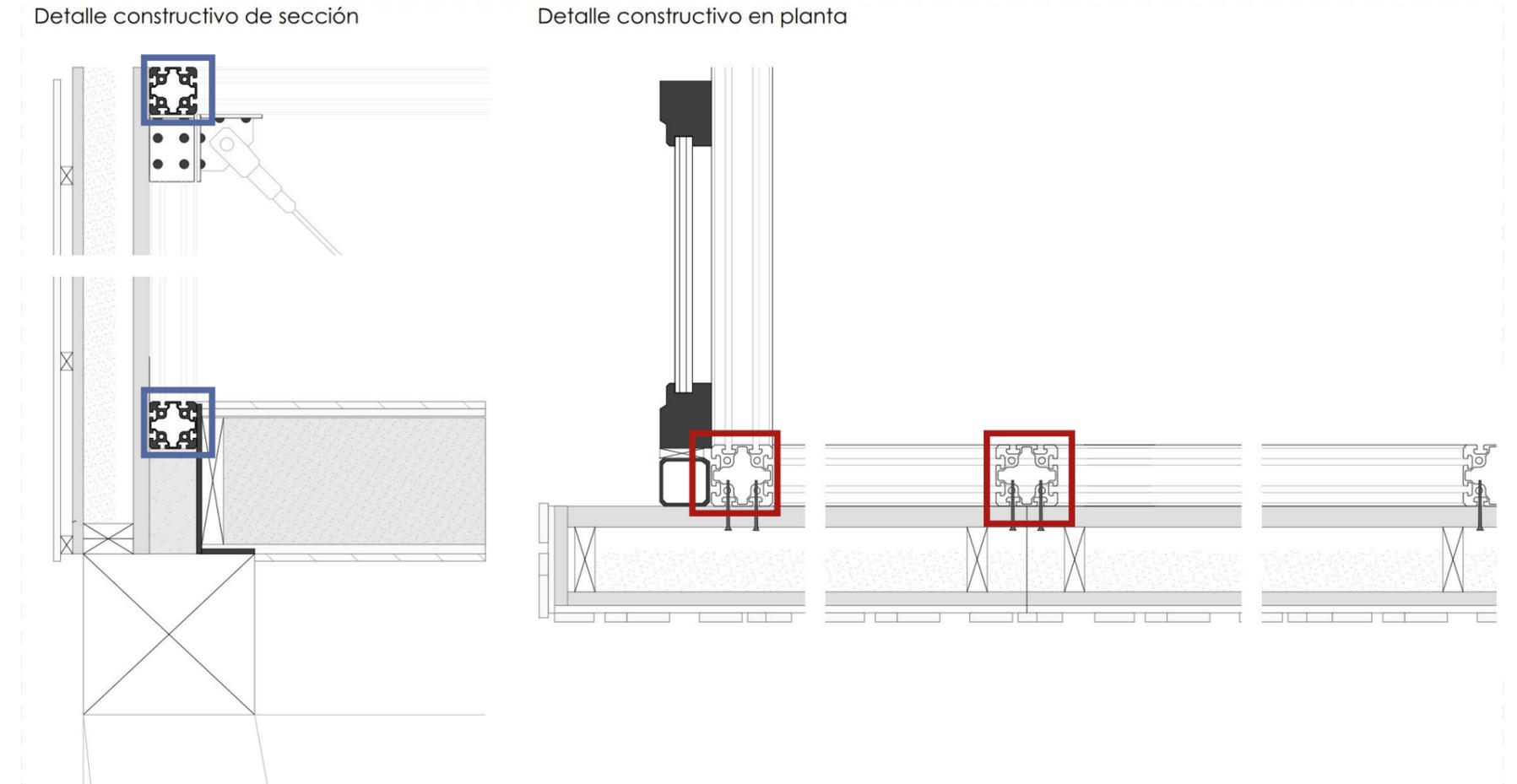


Figura 75: Detalle de fijación superior e inferior mediante perfiles. Fuente: Autoría propia.

Figura 76: Fijaciones laterales y en esquinas. Fuente: Autoría propia.

Proceso constructivo:

1. En primer lugar se llevó a cabo una limpieza exhaustiva del terreno con el objetivo de retirar cualquier obstáculo que pudiera interferir en la construcción de los cimientos. Una vez finalizada la limpieza se procedió a la colocación de las columnas de madera que servirán como soporte para toda la estructura de la vivienda.
2. Sobre la estructura de columnas de madera se colocó la estructura de perfiles metálicos, sobre la cual se montaron en primer lugar los paneles de piso y de cubierta, los cuales conformarán la base de la vivienda.
3. Posteriormente, se procedió al montaje de las envolventes verticales del proyecto, con el objetivo de posteriormente colocar el recubrimiento de tiras de madera que cubrirá parcialmente la fachada. Este recubrimiento no solo aportará un aspecto formal importante, sino que también brindará seguridad y privacidad a la vivienda, ya que cubrirá también los muros con ventanas.
3. Finalmente, se colocó el muro cortina de ventanas corredizas en la fachada frontal, el cual permitirá el paso de iluminación natural y ventilación directa a toda la vivienda. Sobre las ventanas se colocó un sistema de cerramiento de ventana plegable, que servirá como elemento de protección ante posibles tormentas y bloqueará los posibles puentes térmicos entre las ventanas. Cabe destacar que este sistema de cerramiento está compuesto por paneles acrílicos que permitirán el paso de la luz sin afectar la visibilidad (Fig 77).

Proceso constructivo

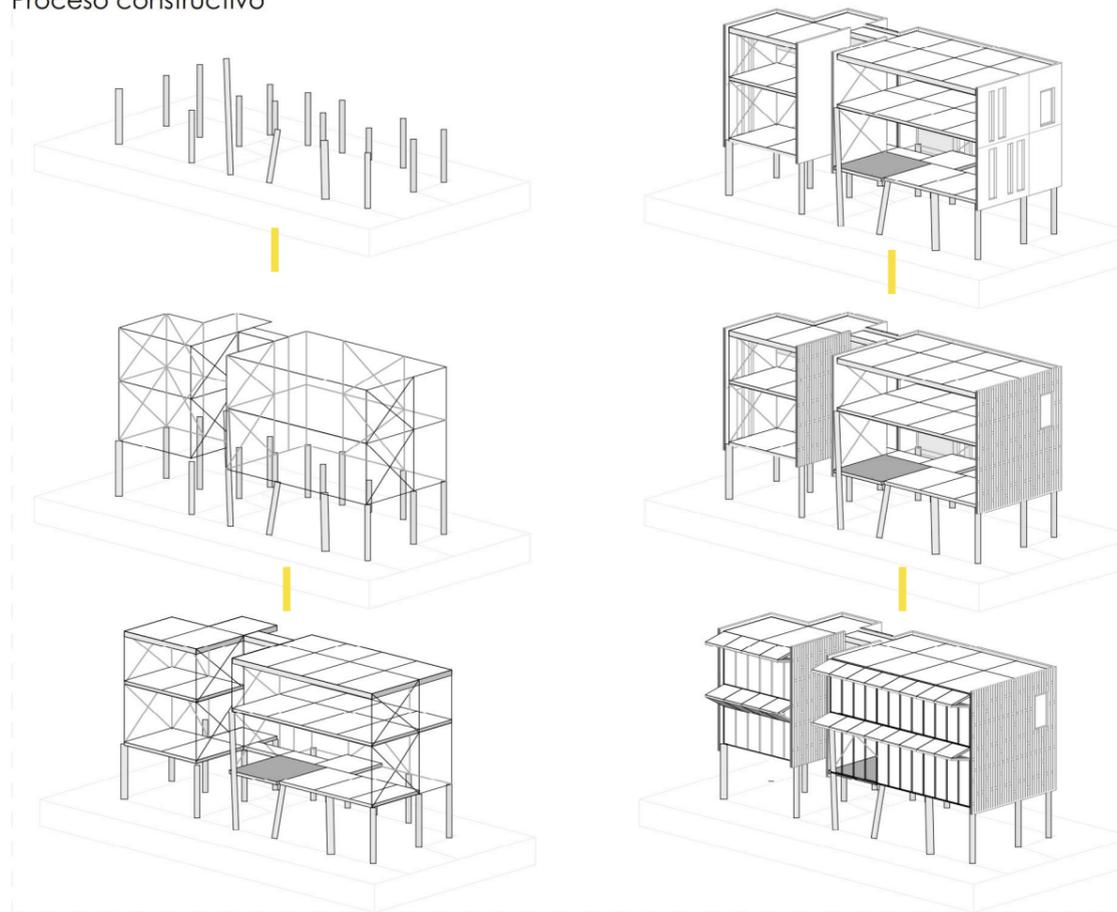


Figura 77: Proceso constructivo. Fuente: Autoría propia.

Sostenibilidad

El proyecto de la Casa Loblolly ha sido reconocido a nivel internacional por su enfoque en la sostenibilidad, mediante el uso de estrategias y materiales que minimizan su impacto ambiental y mejoran su eficiencia energética. Para lograr esto, se utilizaron medidas sostenibles en su construcción, como un diseño bioclimático que maximiza el aprovechamiento de la ventilación e iluminación natural, la instalación de tecnologías de energía renovable para autoconsumo y una gestión responsable de residuos para reciclaje.

Además, se tuvo en cuenta la calidad de los materiales empleados para maximizar su eficiencia sin tener un exceso de materiales contaminantes. Los materiales utilizados en la construcción se especifican a continuación, incluyendo información sobre el nivel de contaminación provocado, el nivel de posible reciclaje y el nivel de desechos generados.

SOSTENIBILIDAD				
#	Material	Contaminación	Reciclaje	Desechos
1	Aluminio	Alto	Alto	Medio
2	Madera de cedro	Medio	Medio	Medio
3	Membrana TPO	Bajo	Medio	Bajo
4	Madera contrachapada	Medio	Medio	Medio
5	Lámina de polietileno	Bajo	Bajo	Bajo
6	paneles acrílicos	Bajo	Bajo	Bajo
7	Vidrio	Bajo	Bajo	Bajo
8	Espuma de poliuretano	Alto	Bajo	Medio
9	Fibro cemento	Bajo	Medio	Medio
10	Madera laminada	Medio	Medio	Medio

Tabla 9: Análisis de sostenibilidad de los materiales aplicados al proyecto. Fuente: Autoría propia

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA

MATERIALIDAD					
#	Material	Espesor mm	Función	Conductividad térmica	Eficiencia energética en transmitancia térmica
1	Aluminio	100	Perfiles estructurales	Alto	Medio
2	Madera de cedro	400	Columnas de cimientos	Bajo	Medio
3	Membrana TPO	3	Barrera de aire y vapor	Bajo	Bajo
4	Madera contrachapada	20	Lamas de recubrimiento exterior de paneles	Bajo	Medio
5	Lámina de polietileno	0,2	Aislante	Bajo	Bajo
6	Paneles de policarbonato	15	Cerramiento de ventanas	Bajo	Alto
7	Vidrio templado	7	Ventanas	Medio	Alto
8	Espuma de poliuretano	50	Aislante	Bajo	Bajo
9	Fibro cemento	10	Recubrimiento exterior de paneles	Medio	Medio
10	Madera laminada	12	Recubrimiento interior de paneles	Bajo	Medio

Tabla 10: Análisis de la eficiencia energética en cuanto a transmitancia térmica de los materiales empleados. Fuente: Autoría propia

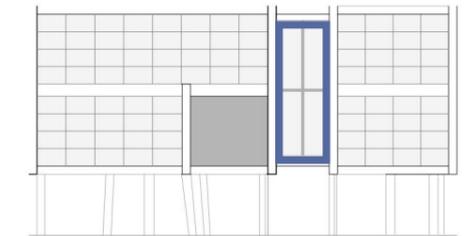
Puentes térmicos

La vivienda Loblolly fue diseñada con un enfoque especial en el confort térmico interior, utilizando materiales y sistemas que aseguran una adecuada aislación térmica, evitando la pérdida de temperatura en el interior. Para lograr esto, se emplearon paneles de gran escala rectangulares, para minimizar las uniones en las envolventes los paneles se instalaron por el exterior de los perfiles, lo que oculta las uniones por el interior detrás de los perfiles y por el exterior tras las tiras de madera. Esto crea una barrera interna y externa que impide el ingreso de aire y la pérdida de calor.

Sin embargo, hay dos puntos a considerar para mejorar la aislación térmica en la vivienda. En primer lugar, el uso de ventanas deslizantes requiere la instalación de rieles, que pueden generar puentes térmicos entre los perfiles y disminuir la eficacia de la aislación. Aunque se propuso solucionar este problema con el uso de cerramientos de ventana, estos no cierran herméticamente, lo que mejora la aislación pero no logra una hermetización completa de las uniones.

En segundo lugar, la conexión entre los dos volúmenes de la vivienda cuenta con un gran ventanal fijo que no tiene la opción de abrirse, pero que no cuenta con una protección adicional como un cerramiento de ventana. En este caso, la pérdida de energía térmica puede ocurrir a través del vidrio del ventanal (Fig 78).

Ventanal



Carpinterías

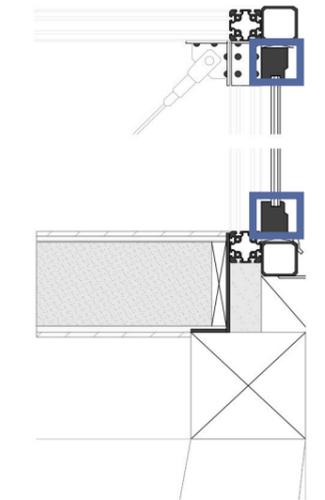


Figura 78: Análisis de posibles puentes térmicos. Fuente: Autoría propia

PRINCIPALES ESTRATEGIAS APLICADAS

- Recubrimiento exterior extra: Se empleó un recubrimiento adicional de tiras de madera en la envolvente vertical de la casa para cubrir las juntas entre los paneles y crear una barrera protectora permeable. Además de brindar protección, este recubrimiento genera un efecto estético atractivo al proporcionar un aspecto formal interesante a la fachada. Este recubrimiento ayuda a minimizar las posibles infiltraciones de agua y aire en la envolvente de la casa y mejora su eficiencia energética (Fig 79).
- Cerramiento de ventana: Se instaló un cerramiento plegable hecho de paneles acrílicos. Estos paneles proporcionan una protección contra el viento y la lluvia, y al mismo tiempo permiten la entrada de luz natural al interior de la casa. Este tipo de cerramiento ayuda a minimizar las pérdidas de energía a través de las ventanas y mejora el aislamiento térmico de la vivienda (Fig 80).



Fig 79: Revestimiento escalonado de madera. Fuente: (Halkin Photography LLC, s. f.)



Fig 80: Cerramiento translucido desplegable. Fuente: (Halkin Photography LLC, s. f.)

- Paneles solares y fotovoltaicos: La instalación de paneles solares y fotovoltaicos en la envolvente de la casa permite aprovechar la energía solar para generar electricidad y potenciar la funcionalidad de la vivienda. Además, esta incorporación aporta a una eficiencia energética que puede mejorar la transmitancia térmica de la vivienda (Fig 81).
- Paneles por fuera de la estructura: Los paneles de la envolvente de la casa se instalaron por fuera de la estructura, lo que permite que la estructura forme una barrera interior en las uniones. Esta estrategia mejora el aislamiento térmico y acústico de la vivienda, y también facilita la instalación y desmontaje de paneles en caso de ser necesario. Al instalar los paneles por fuera de la estructura, se reduce la posibilidad de puentes térmicos y se mejora la eficiencia energética de la casa (Fig 82).

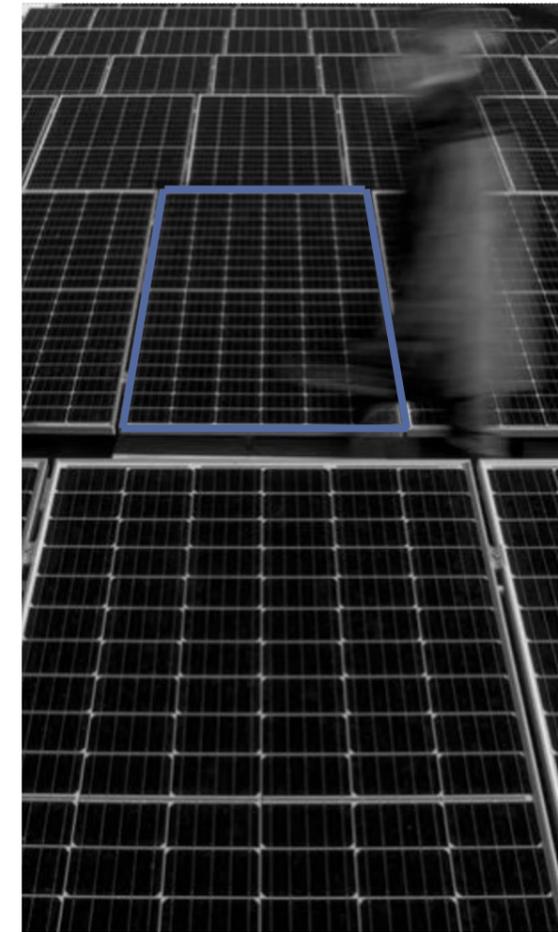


Fig 81: Paneles solares en cubierta plana. Fuente: (VÍCTOR SAINZ, s. f.)



Fig 82: Acabado resultante de la instalación de paneles de la envolvente por el exterior de los perfiles metálicos. Fuente: (Halkin Photography LLC, s. f.)



IV

DISEÑO

4.01 Estrategias de transmitancia térmica de los paneles

En esta etapa de la investigación se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los paneles utilizados en las envolventes verticales de los casos de estudio, con el objetivo de identificar las estrategias más efectivas en términos de transmisión térmica que optimizan el sistema de envolventes. Para lograr esto, se examinó minuciosamente cada componente que conforma el panel de la envolvente vertical, categorizándolos en: estructura del panel, muro ciego, ventana y uniones. Esta categorización sistemática permitió obtener resultados más precisos en cuanto a la transmisión térmica de cada elemento.

Se compiló la información pertinente en una tabla que incluye un código de identificación para cada material y su ubicación en un gráfico adjunto. Además, se detalla la función de cada elemento, el material del que está compuesto, su espesor, su conductividad térmica y su resistencia térmica. Además, se ha incluido un recuadro adicional en la tabla principal que muestra el resultado de la transmisión térmica total de cada categoría.

Es fundamental destacar que los valores de conductividad térmica utilizados para cada material se obtuvieron en conformidad con las especificaciones establecidas en la Norma Ecuatoriana de Construcción, código NEC-HS-EE. Dicha normativa proporciona información precisa sobre la conductividad térmica de los materiales más comúnmente empleados en la industria de la construcción.

En relación al cálculo, es relevante tener en cuenta que se aplicaron los parámetros climáticos correspondientes al clima específico abordado en esta tesis, que se clasifica como ecuatorial mesotérmico semihúmedo, denominado como "continental lluvioso" en la norma. Esta clasificación corresponde a la zona climática 3 según la información provista por la normativa. Por lo tanto se consideraron valores de resistencia térmica interiores de 0.12 W/m²K y exteriores de 0.05 W/m²K, lo cual resulta esencial para el cálculo de la transmisión térmica.

A continuación, se presentan las fórmulas utilizadas para calcular las resistencias térmicas y las transmisiones térmicas resultantes.

Resistencia térmica (R): $R = (e / \lambda)$ o en el caso de estructuras o perfiles $R = (e / (\lambda * p))$

Transmitancia térmica (U): $U = 1 / (\sum(R) + Ri + Re)$

Simbología de fórmulas

- e Espesor
- λ Conductividad
- p Perímetro
- Ri Resistencia térmica interior
- Re Resistencia térmica exterior

CASO DE ESTUDIO 1

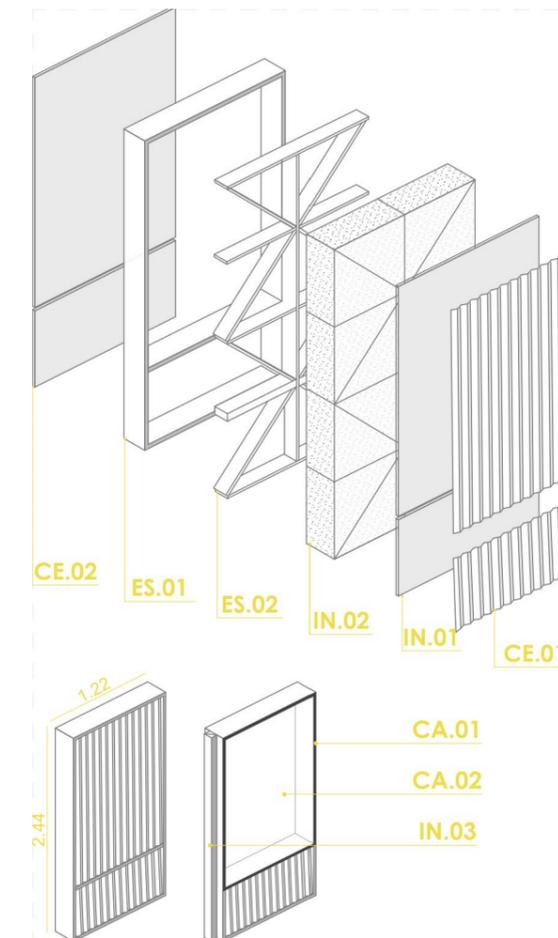


Fig 83: Paneles de envolvente vertical del prototipo de un sistema constructivo industrializado. Fuente: Autoría propia.

Estructura					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m2k/W)
ES.01	Estructura	Madera encolada laminada	0.0254 m p= 8.54 m	0,14	0,021
ES.02	subestructura	Madera encolada laminada	0.0127m p= 15.4 m	0,14	0,006

Transmitancia térmica total de estructura
5,07 (W/m2k)

Muro ciego					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m2k/W)
CE.01	Revestimiento exterior	Aluminio corrugado	0.006 m	110	0,000
IN.01	Capa intermedia	Tablero OSB	0.0127 m	0,13	0,098
IN.02	Aislante	Lana mineral	0.060 m	0,038	1,579
CE.02	Revestimiento interior	tablero de yeso cartón	0.015 m	0,25	0,060

Transmitancia térmica total muro ciego
0,52 (W/m2k)

Ventana					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica	Resistencia térmica
CA.01	carpintería	perfiles de aluminio	0.06 m P=5,7 m	230	0,000
CA.02	ventana	vidrio	0.008 m	0,9	0,009

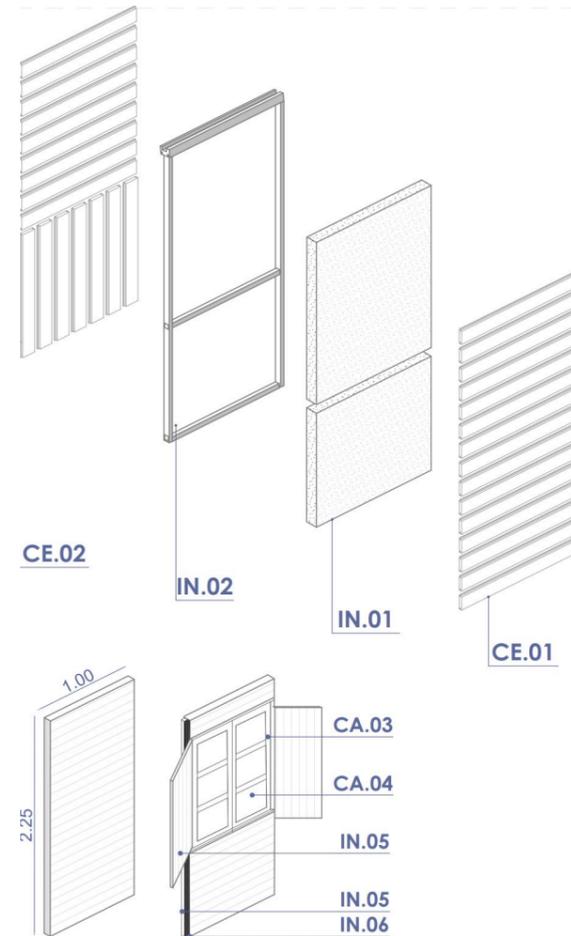
Transmitancia térmica total ventana
5,59 (W/m2k)

Uniones					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m2k/W)
IN.03	Juntas entre paneles	cuñas de madera	0,050 m p= 7,32 m	0,14	0,049

Transmitancia térmica total uniones
4,57 (W/m2k)

Tabla 11: Análisis de Transmitancia térmica de los paneles de envolvente vertical de prototipo de un sistema constructivo industrializado. Fuente: Autoría propia

CASO DE ESTUDIO 2



Estructura					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica(m2k/W)
ES.03	Estructura	Madera contrachapada	0.020 m p= 7.50 m	0,14	0,019

Transmitancia térmica total de estructura
5,29 (W/m2k)

Muro ciego					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica(m2k/W)
CE.03	Revestimiento exterior	madera contrachapada	0.015 m	0,14	0,107
IN.04	Aislante	aislamiento de celulosa	0.04 m	0,04	1,000
CE.04	Revestimiento interior	madera contrachapada	0.015 m	0,14	0,107

Transmitancia térmica total muro ciego
0,72 (W/m2k)

ventana					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica	Resistencia térmica
CA.03	carpintería	madera contrachapada	0.04 m p=4.4 m	0,14	0,065
CA.04	ventana	vidrio cámara	0.008 m	0,9	0,009
CA.05	cerramiento	madera contrachapada	0.015 m	0,14	0,107

Transmitancia térmica total ventana
2,85 (W/m2k)

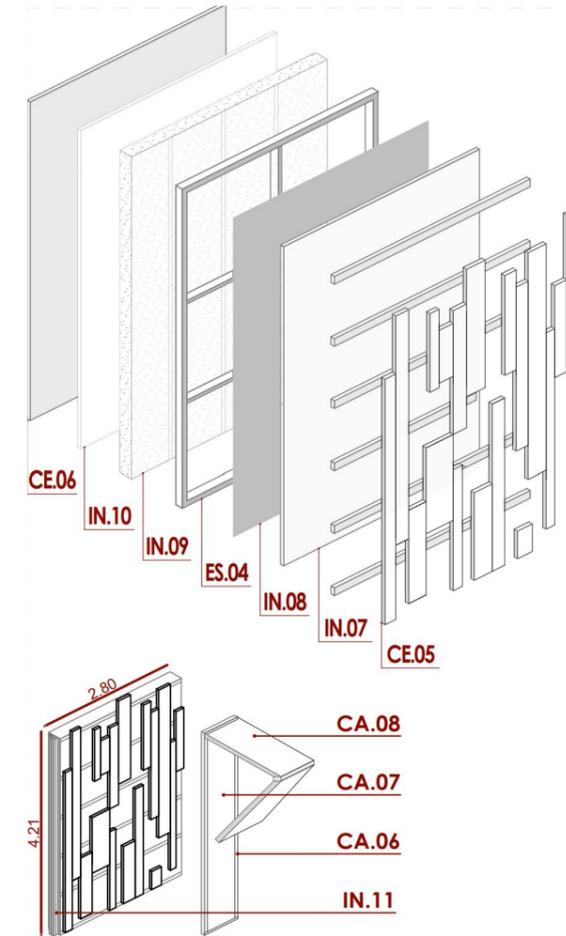
Uniones					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica(m2k/W)
IN.05	Juntas entre paneles	madera contrachapada	0.04 m p= 7,5 m	0,14	0,038
IN.06	Juntas entre paneles	juntas de goma sintética	0.003 m p= 7,5 m	0,2	0,002

Transmitancia térmica total uniones
4,76 (W/m2k)

Fig 84: Paneles de envolvente vertical de Demountable House 6x6. Fuente: Autoría propia.

Tabla 12: Análisis de Transmitancia térmica de los paneles de envolvente vertical de Demountable House 6x6. Fuente: Autoría propia

CASO DE ESTUDIO 3



Estructura					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica(m2k/W)
ES.04	Estructura	Perfiles de aluminio	0.1 m p= 23.50 m	230	0,000

Transmitancia térmica total de estructura
5,88 (W/m2k)

Muro ciego					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica(m2k/W)
CE.05	revestimiento exterior 50%	madera contrachapada	0.02 m	0,14	0,143
IN.07	Capa intermedia	Fibrocemento	0.01 m	0,93	0,011
IN.08	barrera de aire y vapor	Membrana TPO	0.003 m	0,17	0,018
IN.09	Aislante	espuma de poliuretano	0.05 m	0,025	2,000
IN.10	Aislante	lámina de polietileno	0.15 m	0,39	0,385
CE.06	Revestimiento interior	madera laminada	0.012 m	0,14	0,086

Transmitancia térmica total muro ciego
0,36 (W/m2k)

ventana					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica(m2k/W)
CA.06	carpintería	Perfiles de aluminio	0.1 m p= 9.60 m	230	0,000
CA.07	ventana	vidrio templado	0.007 m	1	0,007
CA.08	cerramiento	policarbonato	0.015 m	0,17	0,088

Transmitancia térmica total ventana
3,77 (W/m2k)

Uniones					
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica(m2k/W)
IN.11	Juntas entre paneles	perfiles de aluminio	0.1 m p= 23.50 m	230	0,000

Transmitancia térmica total uniones
5,88 (W/m2k)

Fig 85: Paneles de envolvente vertical de Casa Loblolly . Fuente: Autoría propia.

Tabla 13: Análisis de Transmitancia térmica de los paneles de envolvente vertical de Casa Loblolly. Fuente: Autoría propia

4.01.1 Estrategias identificadas

Una vez realizado el proceso de sistematización y análisis de la información relacionada con los paneles utilizados en las envolventes verticales de cada caso de estudio, se han identificado las estrategias y elementos que han contribuido a la optimización de la transmisión térmica. Los datos recopilados han revelado la influencia significativa de diversos factores en los resultados obtenidos.

En primer lugar, el material empleado desempeña un papel fundamental debido a las distintas características que presenta. Se ha observado que algunos materiales son más eficientes en términos de conductividad térmica, tanto en aislantes como en recubrimientos. Por ejemplo, se ha constatado que la madera contrachapada, en comparación con la madera encolada laminada, presenta una menor conductividad térmica, lo que la convierte en una opción más eficiente desde el punto de vista térmico sin afectar su función.

Además, el espesor de los materiales también influye de manera significativa, ya que al variarlo se modifica la resistencia térmica del panel y sus propiedades aislantes. Este aspecto se refleja claramente en los resultados de resistencia térmica individual de los aislantes, donde se puede apreciar una variación considerable en la resistencia y, por ende, en la transmisión térmica general del panel.

El número de capas presentes en el panel también desempeña un papel importante en la transmisión térmica final. Cada capa actúa como una barrera que dificulta la transferencia de temperatura, lo cual contribuye a mejorar la eficiencia energética de la envolvente. Por ejemplo, se ha observado que el caso con menor cantidad de capas (caso 2) presenta la mayor transmisión térmica, mientras que el caso con mayor cantidad de capas (caso 3) exhibe la menor transmisión térmica.

Las uniones entre los componentes del panel tienen un papel crucial, ya que una mayor hermeticidad en estas uniones reduce la probabilidad de puentes térmicos que puedan afectar el interior del sistema, mejorando así el rendimiento térmico. En el caso 2, se implementaron juntas de goma en las uniones para mejorar la impermeabilización y el aislamiento térmico.

Asimismo, las ventanas desempeñan un papel complementario en el aislamiento de las envolventes. Es fundamental contar con sistemas de aislamiento eficientes en las ventanas para evitar pérdidas de energía a través de estas superficies. En los casos 2 y 3, se instalaron cerramientos de ventanas que, al estar cerrados, protegen las ventanas de la pérdida de calor.

En resumen, tras el análisis realizado, se han establecido las estrategias de optimización aplicadas a estos casos de estudio, que se centran en la selección adecuada de materiales, la determinación del espesor óptimo, la consideración del número de capas, la atención a las uniones y la utilización de sistemas de aislamiento eficientes en las ventanas. Estas estrategias contribuirán a mejorar la eficiencia energética y el rendimiento térmico de los paneles de envolvente vertical (Fig 86).



Fig 86: Transmitancia térmica de envolventes verticales . Fuente: (Владимир Васильев, s. f.)

4.02 Diseño optimizado de panel

Una vez se ha llevado a cabo el análisis exhaustivo de los casos de estudio, se plantea el diseño de un panel prefabricado destinado a un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo. Este diseño se basa en la aplicación de las estrategias identificadas durante el análisis de los paneles de los casos de estudio. Para ello, se ha buscado implementar los sistemas, materiales y módulos más eficientes extraídos de dichos casos.

En primer lugar, se ha propuesto un diseño de paneles con una modulación general de 1.22x2.44 metros. Estas dimensiones responden a las medidas comúnmente utilizadas en la construcción de elementos prefabricados, lo que permitiría una mayor eficiencia en el proceso de fabricación al utilizar una modulación estandarizada. Además, se han adaptado sistemas de unión para garantizar el correcto funcionamiento de los paneles ensamblados.

En lo que respecta a los materiales utilizados, se ha tomado como punto de partida aquellos empleados en los casos de estudio.

No obstante, se ha llevado a cabo una búsqueda de alternativas que cumplan la misma función, pero con un menor índice de energía incorporada individual. Para ello, se ha priorizado la selección de materiales con una respuesta de transmitancia térmica más favorable (Figura 87).

De esta manera, se lograra obtener un panel diseñado que cumpla satisfactoriamente con los estándares normativos establecidos, demostrando su eficacia en términos de rendimiento térmico y uso eficiente de recursos. Es importante destacar que los valores de conductividad térmica utilizados se han obtenido de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) vigente. Estos valores son fundamentales para evaluar la capacidad de los materiales para conducir el calor. Por otro lado, los valores de energía incorporada han sido obtenidos del libro "Propiedades de los materiales y elementos de construcción" de Satre Satre & Muñoz Salinas, 2010. Estos datos proporcionan información relevante sobre la cantidad de energía requerida durante la fabricación y producción de los materiales.



Fig 87: Energía incorporada en la construcción de bloques .
Fuente:(Hla Mong U Marma, s. f.)

Después de realizar un exhaustivo análisis de los casos de estudio, se ha desarrollado un diseño preliminar del panel que integra estrategias basadas en dichos casos (ANEXO 9). No obstante, al evaluar la transmitancia y resistencia térmica, se ha determinado que este diseño excede los requisitos establecidos por la normativa para ser considerado un panel de envolvente vertical óptimo.

Como resultado, se ha tomado la decisión de crear un segundo diseño de panel más simplificado, con el objetivo de emplear estrategias y materiales de forma eficiente. El enfoque se centra en lograr un panel diseñado específicamente para la envolvente vertical en el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, que minimice la cantidad de materiales utilizados sin comprometer los valores requeridos de transmitancia y resistencia térmica, necesarios para asegurar un entorno habitable no climatizado.

Gracias a este enfoque, se ha logrado obtener un panel diseñado que se ajusta de manera satisfactoria a los estándares normativos establecidos, demostrando su eficacia en términos de rendimiento térmico y utilización eficiente de recursos. Además de optimizar la eficiencia energética y el rendimiento térmico de los paneles de envolvente vertical, se han aplicado los conocimientos adquiridos durante el análisis de los casos de estudio.

A continuación, se presenta el diseño del panel, detallando cada uno de los elementos que lo componen tanto en la sección de muro ciego como en la de ventana. Asimismo, se incluye un esquema de montaje que ilustra el proceso de construcción y ensamblaje de los paneles en las envolventes verticales (Fig 88-89).

MURO CIEGO

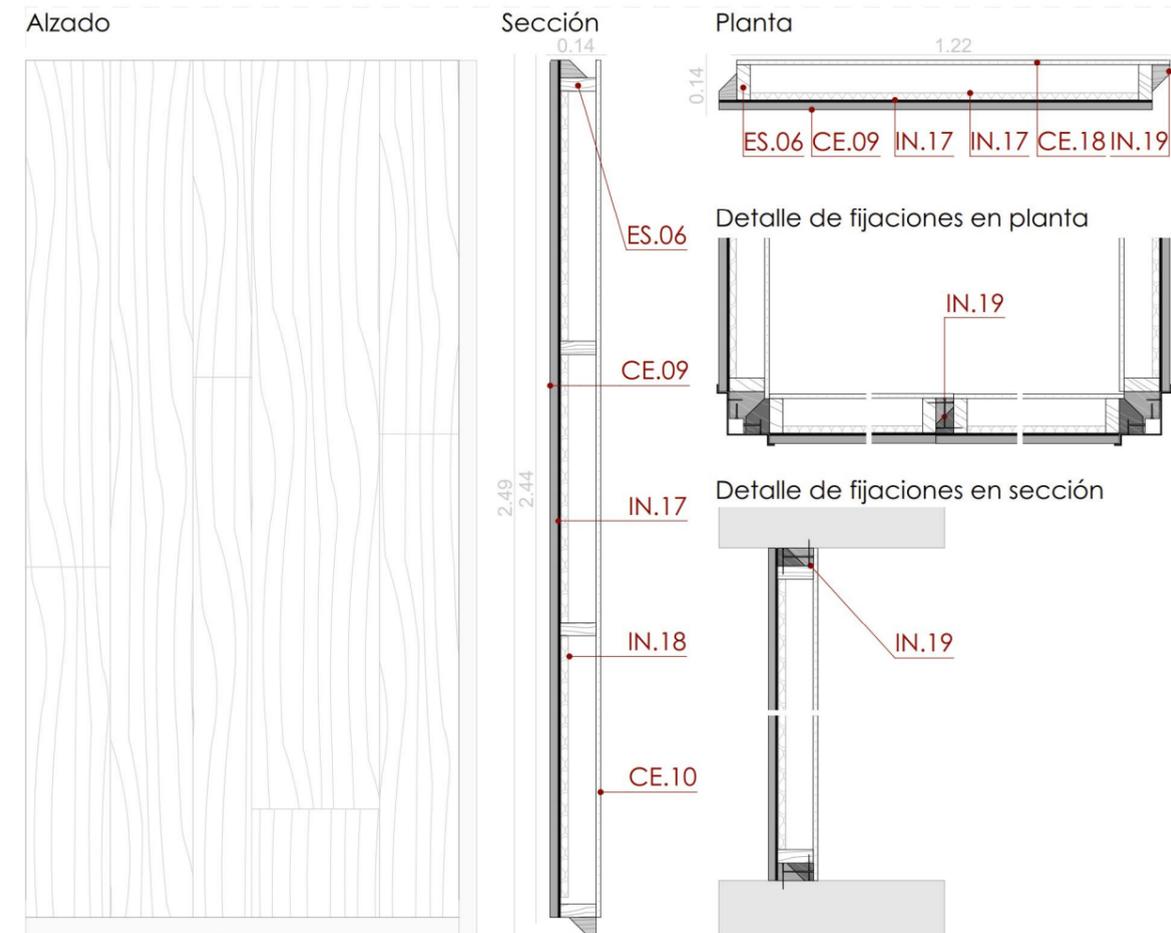


Fig 88: Diseño de panel de envolvente vertical para muro ciego . Fuente: Autoría propia.

LEYENDA	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
ESTRUCTURA	
ES.06	Madera de pino blanco de 1,5"x4"
CERRAMIENTOS	
CE.09	Tablero de madera Teca de 1.22x2.44m.
CE.10	Panel de yeso cartón de 1.22x2.44m.
INSTALACIONES	
IN.17	Impermeabilizante de polietileno de baja densidad (plástico negro)
IN.18	Aislante de celulosa en spray
IN.19	Cuñas trapezoidal de madera de pino blanco
CARPINTERÍA	
CA.12	Perfiles de PVC , fijado mediante tornillos y selladas las juntas mediante silicona
CA.13	Vidrio cámara con dos vidrios claros de 8mm de espesor y cámara de aire interior

Tabla 14: Leyenda de materiales empleados. Fuente: Autoría propia

VENTANA

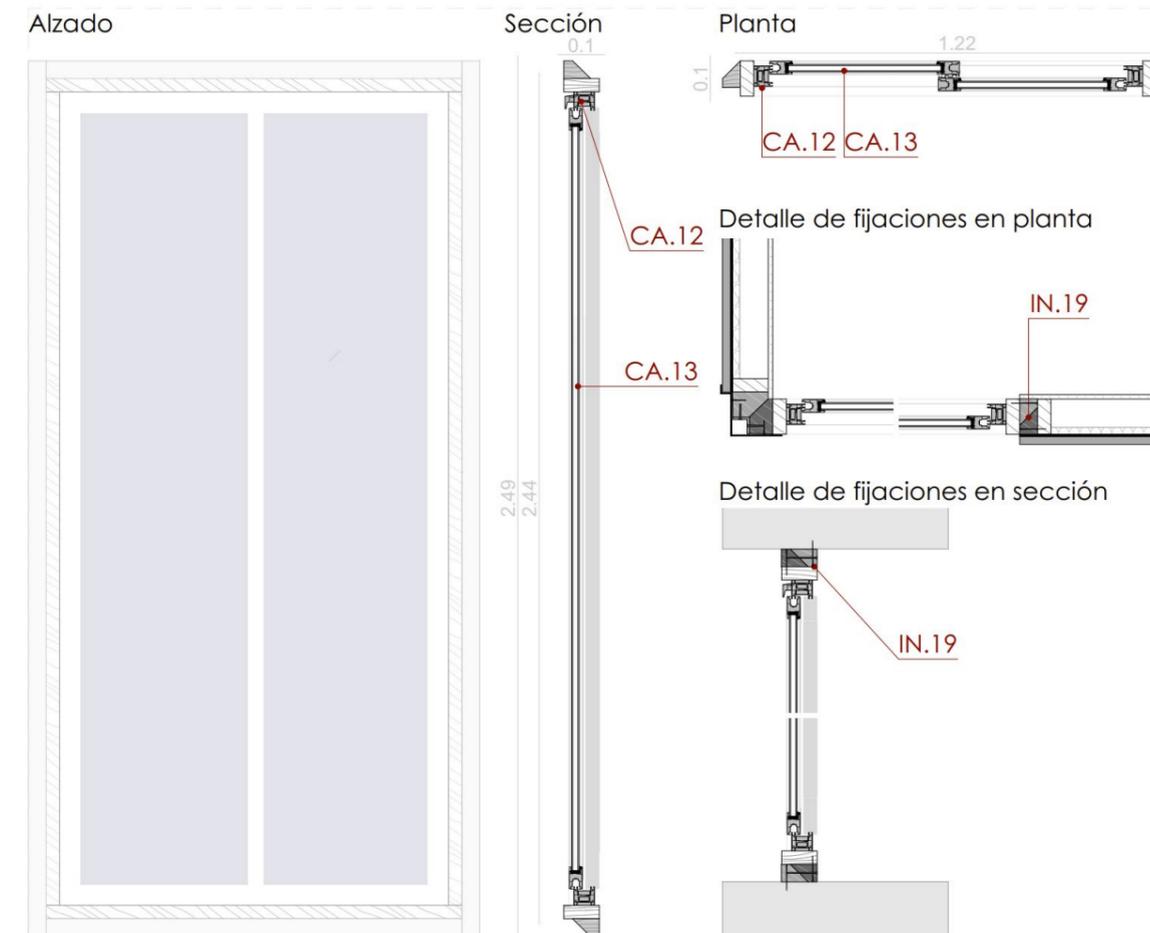


Fig 89: Diseño de panel de envolvente vertical para ventanas . Fuente: Autoría propia.

GUÍA DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

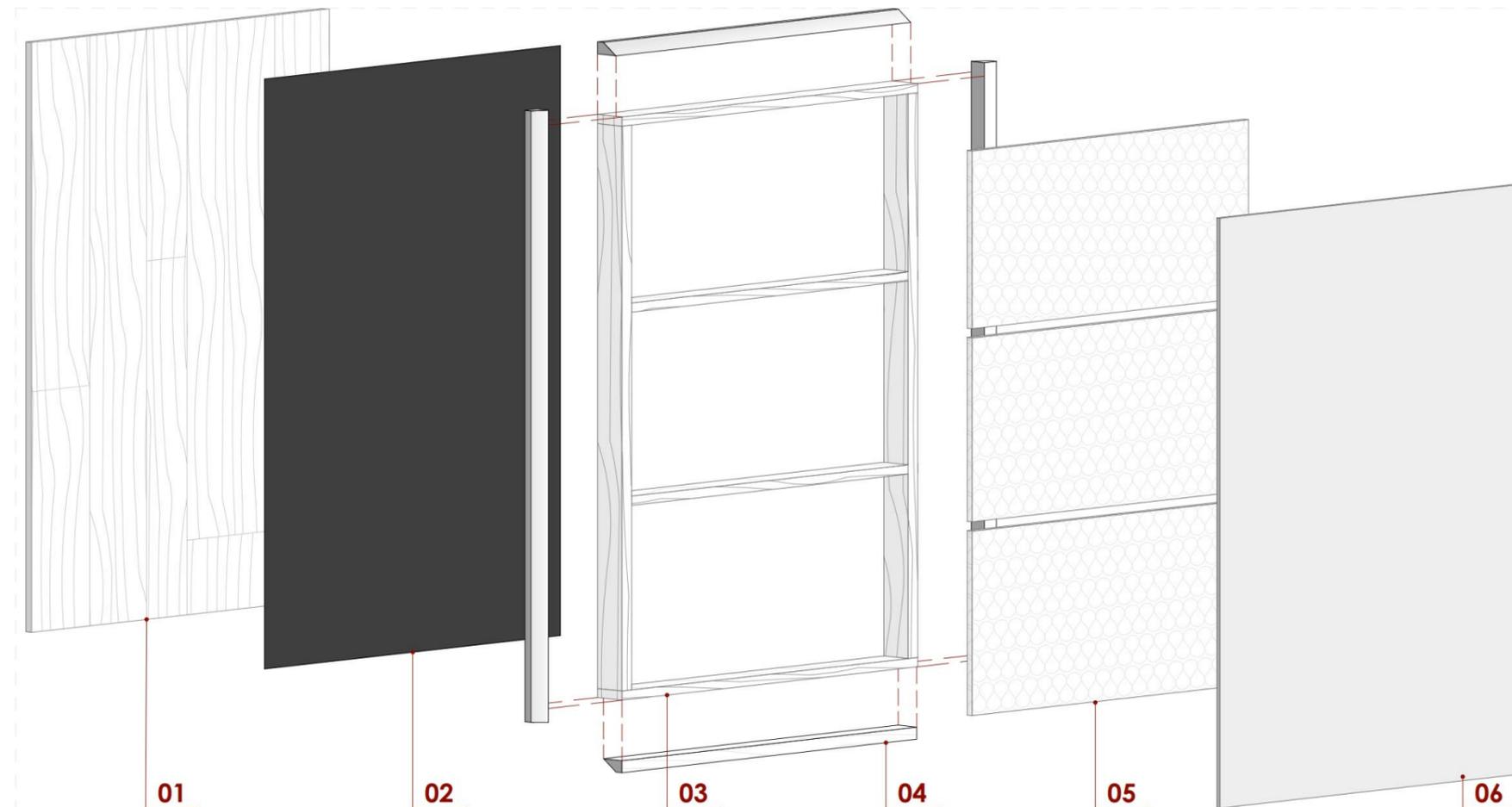


Fig 90: Proceso de construcción y montaje . Fuente: Autoría propia.

Proceso de Construcción:

1. Cerramiento exterior:

Se inicia con la preparación del tablero de madera de teca, de dimensiones 1.22x2.44 metros, que servirá como cerramiento exterior en el panel de envolvente vertical.

2. Impermeabilización:

Se aplica un revestimiento de plástico negro sobre el tablero de madera de teca para brindar una barrera impermeable y proteger el panel de la humedad y agentes externos.

3. Estructura:

El tablero de madera, junto con el revestimiento de plástico, se fija al marco de la estructura de madera de pino utilizando métodos de fijación mecánica. Esto garantiza la estabilidad y resistencia del panel en su conjunto.

4. Uniones:

En los cuatro lados del marco de la estructura se colocan cuñas de madera para permitir la correcta unión entre los paneles adyacentes. Estas cuñas aseguran un encaje sólido y adecuado, proporcionando estabilidad a la estructura.

5. Aislamiento:

Dentro del panel se crean cavidades que son rellenas con un aislante de celulosa en spray. Se asegura un espesor de 2 cm para lograr un adecuado aislamiento térmico y acústico en el panel.

6. Cerramiento interior:

En la cara interior del panel se coloca el tablero de yeso cartón, el cual aporta rigidez y estabilidad al panel. Este tablero servirá como base para los acabados posteriores.

Proceso de Montaje:

• Ensamblaje de los paneles:

Los paneles, previamente contruidos en fábrica siguiendo el proceso de construcción mencionado, son transportados a la obra para su montaje. Cabe destacar que en la fábrica no se coloca el tablero de yeso cartón en el panel.

• Uniones:

Los paneles se ensamblan entre sí utilizando las cuñas colocadas en los lados del marco. Se sigue un sistema de configuración que oculta las uniones entre los paneles, utilizando métodos de fijación mecánica para garantizar la resistencia y estabilidad de la envolvente.

• Instalaciones:

Una vez montados los paneles, se realizan las instalaciones necesarias, como conexiones eléctricas o sanitarias, aprovechando los espacios disponibles dentro del panel.

• Cerramiento interior:

Se procede a colocar el tablero de yeso cartón en el interior de la envolvente. Esto permite realizar las uniones y conexiones pertinentes de manera más accesible. Además, cubre las uniones entre los paneles en el interior y brinda una superficie lista para los acabados finales.

• Acabado final:

Se realiza el sellado de las uniones interiores entre los paneles utilizando yeso o empaste para lograr una superficie uniforme y sin irregularidades. En el interior, se pueden aplicar acabados de pintura o revestimientos decorativos, mientras que en el exterior se puede optar por lacar el tablero de madera para mejorar su aspecto estético.

(Fig 90)

V

COMPARACIÓN

5.01 Análisis de envolventes

Con el objetivo de cuantificar la optimización del comportamiento térmico del panel diseñado, aplicando las estrategias identificadas, se realizará un análisis comparativo entre la transmitancia térmica, resistencia térmica y energía incorporada del panel de envolvente vertical diseñado para un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo y una construcción convencional de mampostería de ladrillo, comúnmente utilizada en ese clima. Como ejemplo de referencia, se ha seleccionado una sección de envolvente vertical de mampostería de ladrillo correspondiente a una vivienda social del EMUVI (Fig 91).

Para llevar a cabo este estudio, se examinó cada envolvente en términos de su resistencia térmica, transmitancia térmica y energía incorporada. Posteriormente, se compararon los resultados obtenidos entre sí y se realizará una comparación adicional con la normativa vigente (NEC) para evaluar el desempeño del panel diseñado en relación a los estándares establecidos.

Este análisis comparativo permitirá evaluar de manera objetiva y técnica el rendimiento térmico del panel diseñado en comparación con la mampostería de ladrillo convencional, así como su cumplimiento con los requisitos normativos vigentes. Los resultados obtenidos proporcionarán una base sólida para determinar la eficiencia energética y la calidad del aislamiento del panel de envolvente vertical en el contexto del clima y las condiciones específicas del clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo.



Fig 91: Vivienda social del EMUVI, correspondiente al proyecto "Capulíes". Fuente: (EMUVI, s. f.-a)

MURO CONVENCIONAL

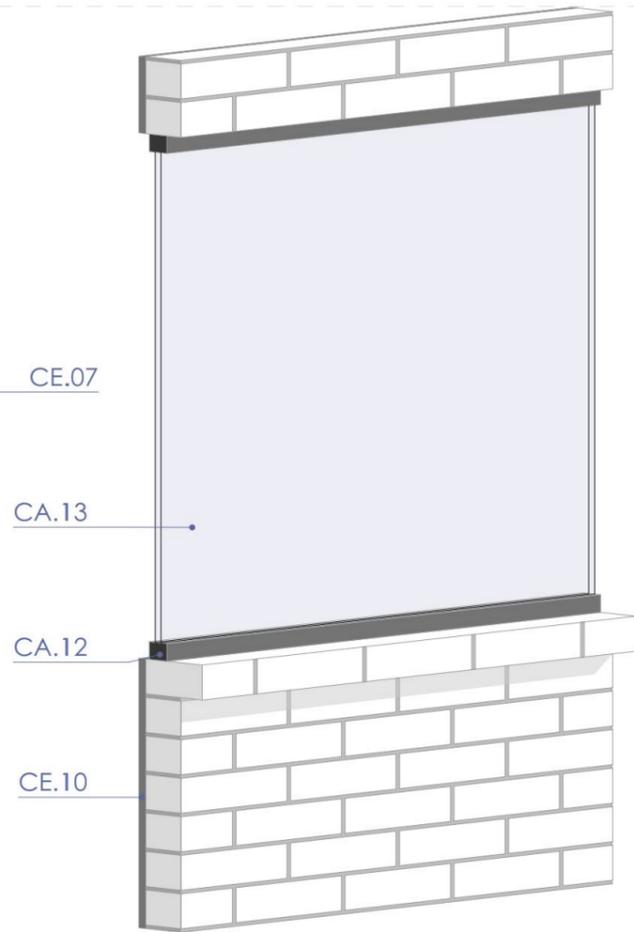
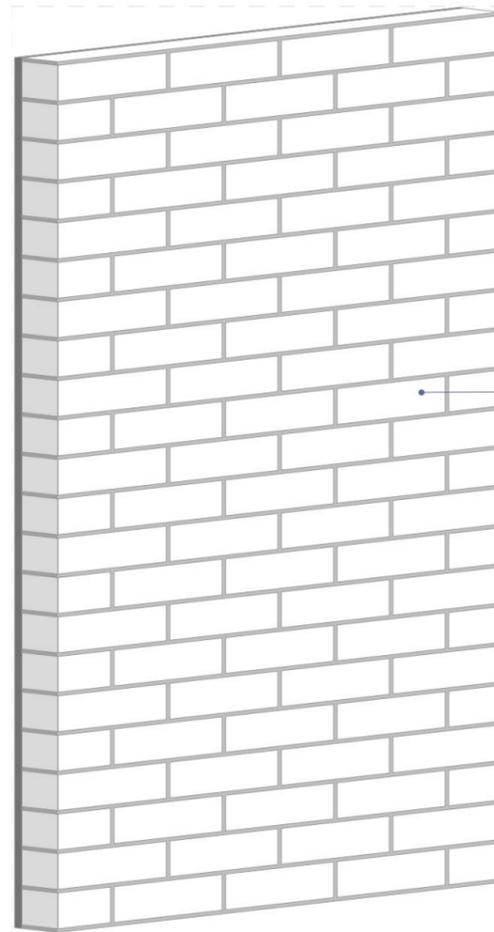


Fig 92: Muro ciego de construcción convencional . Fuente: Autoría propia.

Fig 93: Muro con ventana de construcción convencional . Fuente: Autoría propia.

LEYENDA	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
CERRAMIENTOS	
CE.09	Mampostería de ladrillo hueco de arcilla de 30x10x10 cm ,1 cara vista con mortero prefabricado 1:3
CE.10	Revoque interior de mortero 1:3 para enlucir
CARPINTERÍA	
CA.12	Perfiles de aluminio con sección 5x5cm, fijado con tornillos autorroscantes
CA.13	Vidrio cámara con dos vidrios de 5mm de espesor y cámara de aire interior

Tabla 15: Leyenda de materiales empleados. Fuente: Autoría propia

Muro ciego						
código	función	materiales	espesor(m)	conductividad térmica	Resistencia térmica (m2k/W)	Energía incorporada (MJ/kg)
CE.09	revestimiento exterior	Mampostería de ladrillo hueco	0,1m	0,49	0,204	50
CE.10	Revoque interior	Mortero 1:3	0,02 m	0,93	0,022	8

Ventana						
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m2k/W)	Energía incorporada (MJ/kg)
CA.12	carpintería	Perfiles de aluminio	0,05m p= 5,24 m	230	0,000	201
CA.13	ventana	vidrio cámara	0,012 m	0,9	0,013	46

Tabla 16: Análisis de Transmitancia térmica de los muros de envoltente vertical de construcción convencional. Fuente: Autoría propia

Muro ciego	
U - Transmitancia térmica total (W/m2k)	2,53
R - Resistencia térmica del aislamiento	-
Energía incorporada total	58,00

Ventana	
U - Transmitancia térmica total (W/m2k)	5,45
SHGC - Coeficiente de Ganancia de Calor Solar	0,65
Energía incorporada total	247,00

Tabla 17: Resultados del análisis de Transmitancia térmica de los muros de envoltente vertical de construcción convencional. Fuente: Autoría propia

PANEL DISEÑADO

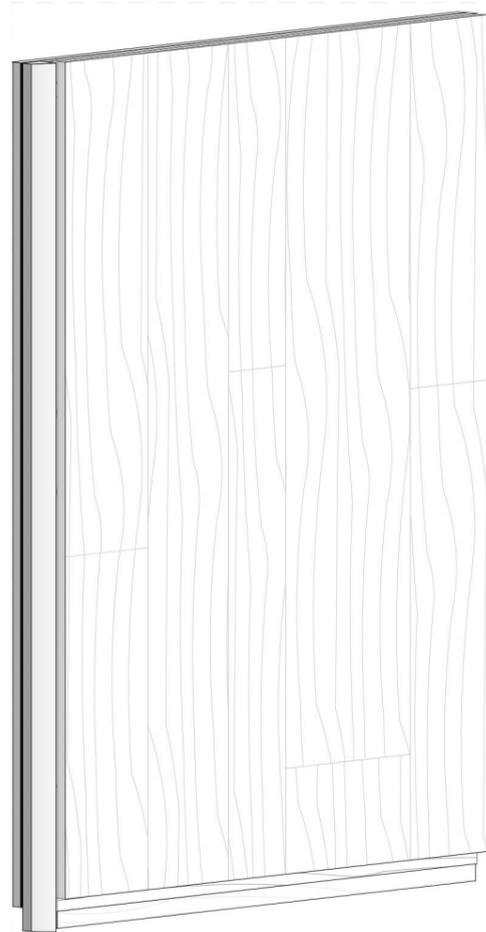


Fig 94: Muro ciego de panel diseñado. Fuente: Autoría propia.

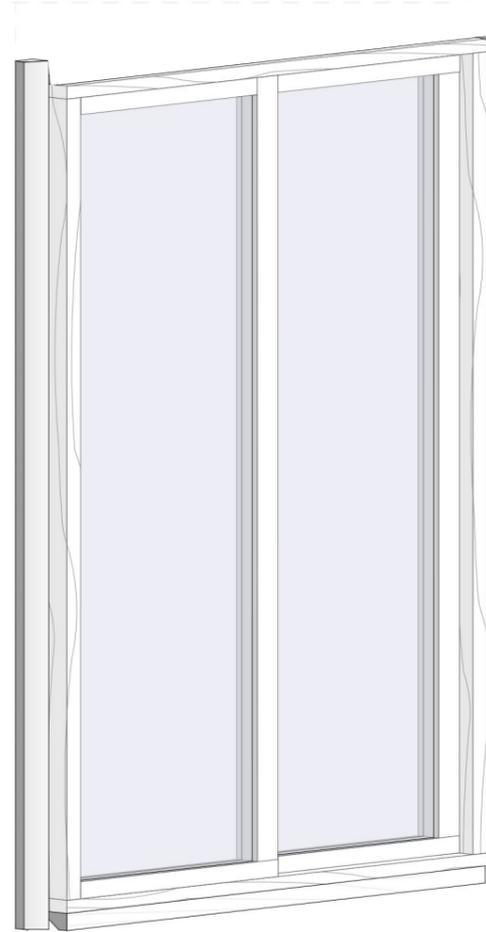


Fig 95: Ventana de panel diseñado. Fuente: Autoría propia.

LEYENDA	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
ESTRUCTURA	
ES.06	Madera de pino blanco de 1,5"x4"
CERRAMIENTOS	
CE.09	Tablero de madera Teca de 1.22x2.44m.
CE.10	Panel de yeso cartón de 1.22x2.44m.
INSTALACIONES	
IN.17	Impermeabilizante de polietileno de baja densidad (plástico negro)
IN.18	Aislante de celulosa en spray
IN.19	Cuñas trapezoidal de madera de pino blanco
CARPINTERÍA	
CA.12	Perfiles de PVC , fijado mediante tornillos y selladas las juntas mediante silicona
CA.13	Vidrio cámara con dos vidrios claros de 8mm de espesor y cámara de aire interior

Tabla 18: Materiales empleados en los paneles Fuente: Autoría propia

Estructura						
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m2k/W)	Energía incorporada (MJ/kg)
ES.06	Estructura	Madera pino blanco	0,038m p= 8,54 m	0,11	0,040	4

Muro ciego						
código	función	materiales	espesor(m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m2k/W)	Energía incorporada (MJ/kg)
CE.08	revestimiento exterior	tableros de teca	0,02m	0,21	0,095	5,2
IN.17	impermeabilizante ante	polietileno de baja densidad	0,005 m	0,33	0,015	80
IN.18	aislante	celulosa en spray	0,02 m	0,039	0,513	11
CE.09	revestimiento interior	panel de yeso carton	0,015 m	0,25	0,060	6

Ventana						
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m2k/W)	Energía incorporada (MJ/kg)
CA.12	carpintería	Perfiles de PVC	0,06m p= 5,68 m	0,16	0,066	78
CA.13	ventana	vidrio cámara	0,012 m	0,9	0,013	46

Uniones						
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m2k/W)	Energía incorporada (MJ/kg)
IN.19	juntas entre paneles	cuñas de madera pino blanco	0,050 m p= 7,32 m	0,11	0,062	4

Tabla 19: Análisis de Transmitancia térmica de los paneles diseñados para envolvente vertical. Fuente: Autoría propia

Estructura	
U - Transmitancia térmica total (W/m2k)	4,75
R - Resistencia térmica total (m2k/W)	0,04
Energía incorporada total	4,00

Muro ciego	
U - Transmitancia térmica total (W/m2k)	1,17
R - Resistencia térmica del aislamiento (m2k/W)	0,51
Energía incorporada total	102,20

Ventana	
U - Transmitancia térmica total (W/m2k)	4,01
SHGC - Coeficiente de Ganancia de Calor Solar	0,50
Energía incorporada total	124,00

Uniones	
U - Transmitancia térmica total (W/m2k)	4,31
R - Resistencia térmica total (m2k/W)	0,06
Energía incorporada total	4,00

Tabla 20: Resultados del análisis de Transmitancia térmica de los paneles diseñados para envolvente vertical. Fuente: Autoría propia

5.02 Comparación

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en forma de tablas correspondientes al análisis comparativo entre el muro convencional y el panel diseñado, tanto para los muros ciegos como para las ventanas, con el fin de evaluar su desempeño desde una perspectiva de transmitancia térmica y eficiencia energética.

En el caso de los muros ciegos, se observan variaciones significativas en los valores analizados. La construcción convencional muestra una transmitancia térmica que supera en más de dos veces a la del panel diseñado. Esta diferencia evidencia que el panel diseñado presenta una mayor capacidad de aislamiento térmico, ya que, a menor valor de transmitancia térmica, mejor es el rendimiento del aislamiento en la envolvente. Además, se aprecia que el factor de resistencia térmica del aislamiento es significativo en el panel diseñado, mientras que en la construcción convencional no se emplea ningún tipo de aislamiento, lo que resulta en un factor de resistencia térmica nulo. No obstante, es importante destacar que en términos de energía incorporada, el panel diseñado presenta casi el doble de valor que la construcción convencional.

En cuanto a las ventanas, nuevamente se evidencia que la ventana diseñada presenta un valor inferior al de la ventana convencional en términos de transmitancia térmica. Sin embargo, en este caso la diferencia no es tan significativa. En relación al Coeficiente de Ganancia de Calor Solar, se refleja que la ventana convencional tiene un valor mayor que la ventana diseñada, lo que indica que la ventana convencional permite una mayor ganancia de calor solar que en este caso puede ser contraproducente en cuanto a la aislación. Por último, en términos de energía incorporada, la ventana convencional casi duplica el valor de la ventana diseñada.

En resumen, al considerar la energía incorporada tanto del muro ciego como de la ventana en cada sistema, se observa que la energía incorporada total del sistema diseñado es menor que la de la construcción convencional. Esto indica que el sistema diseñado presenta una mayor eficiencia energética y resulta más óptimo desde el punto de vista energético.



Fig 96: Resultados correspondientes a muro ciego y ventana de construcción convencional. Fuente: Autoría propia.

Fig 97: Resultados correspondientes a paneles diseñados para muro ciego y ventana. Fuente: Autoría propia.

Una vez realizada la comparación y análisis de los resultados obtenidos, es esencial contrastarlos con los valores mínimos y máximos establecidos por la Norma Ecuatoriana de Construcción vigente. En este sentido, se considerarán los parámetros correspondientes a la variable de paredes sobre nivel de terreno para los muros ciegos, así como la variable de área translúcida vertical para las ventanas.

La transmitancia térmica total del muro ciego convencional excede el límite máximo establecido para un ambiente no climatizado habitable, lo que implica que se clasifica como no adecuado para un ambiente habitable. En contraste, el valor de transmitancia térmica total del panel de muro ciego diseñado se sitúa por debajo del límite máximo establecido, cumpliendo correctamente con los requisitos para un ambiente no climatizado habitable. En cuanto a los valores de resistencia térmica de los aislantes, es importante destacar que la construcción convencional no incorpora una capa aislante, lo que la coloca nuevamente en la categoría de no habitable. Por otro lado, el panel diseñado presenta un valor de resistencia térmica que supera el mínimo requerido, lo que lo posiciona adecuadamente para un ambiente habitable no climatizado.

En relación a las ventanas, se observa que el valor de transmitancia térmica de la ventana convencional se encuentra dentro del rango establecido para un ambiente no climatizado habitable, al igual que el valor de la ventana diseñada. Por último, en cuanto al Coeficiente de Ganancia de Calor Solar (SHGC), tanto la ventana convencional como la diseñada se encuentran dentro del rango aceptado para un ambiente no climatizado habitable, lo que indica que cumplen adecuadamente con los estándares requeridos.

Norma Ecuatoriana de la Construcción						
Elementos opacos	Habitable				No habitable	
	Climatizado		No Climatizado		Montaje máximo	Valor Mín. de aislamiento
	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento		
Techos	U-0273	R-3.5	U-2.9	R-0.89	U-4.7	R-0.21
Paredes, sobre nivel del terreno	U-0.592	R-1.7	U-2.35	R-0.36	U-5.46	NA
Paredes, bajo nivel de terreno	C-6.473	NA	C-6.473	NA	C-6.473	NA
Pisos	U-0.496	R-1.5	U-3.2	R-0.31	U-3.4	NA
Puertas opacas	U-2.840	NA	U-2.6	-	-	-
Ventanas	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC
Área translúcida vertical $\geq 45^\circ$	U-3.69	SHGC-0.25	U-5.78	AHGC-0.82	U-6.81	NA
Área translúcida horizontal $\geq 45^\circ$	U-6.64	SHGC-0.36	U-6.64	AHGC-0.36	U-11.24	NA

Tabla 18: Parámetros seleccionados en la NEC para valorar los sistemas constructivos analizados Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2018)



VI

RESULTADOS

6.01 Conclusión

Los resultados de este proyecto de investigación respaldan la hipótesis planteada al inicio, enfocada en la optimización de las propiedades de transmitancia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales para viviendas en un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo.

En el caso del muro ciego, se observó una transmitancia térmica de 1.17 W/m²k y una resistencia térmica del aislamiento de 0.51 m²k/W, lo cual es considerablemente más beneficioso en comparación con el muro ciego de construcción convencional, que tiene una transmitancia térmica de 2.53 W/m²k y una resistencia térmica del aislamiento de 0 m²k/W debido a la falta de aislamiento.

Además, en el análisis de las ventanas, se observaron ventajas significativas en el panel de ventana. Este panel presentó una transmitancia térmica total de 4.01 W/m²k y un coeficiente de ganancia de calor solar de 0.5 SHGC, lo cual lo convierte en un panel más eficiente en contraste con la ventana convencional, que obtuvo una transmitancia térmica total de 5.45 W/m²k y un coeficiente de ganancia de calor solar de 0.65 SHGC.

A través de un análisis exhaustivo, se identificaron aquellas estrategias efectivas para lograr esta optimización, siendo estas: la selección adecuada de materiales, la determinación del espesor óptimo, la consideración del número de capas y las uniones herméticas que desempeñan un papel estratégico en la mejora de la transmitancia térmica de la envolvente.

Se encontró que una relación adecuada entre la cantidad de material y el volumen del panel es fundamental para optimizar su capacidad de aislamiento térmico. Asimismo, la aplicación de uniones herméticas entre paneles prefabricados es crucial para evitar la formación de puentes térmicos y garantizar un mejor rendimiento térmico global.

En consecuencia, se puede concluir que la optimización de la transmitancia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales en un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo es factible mediante la implementación de las estrategias mencionadas. Esta afirmación se sustenta en la comparación entre el panel diseñado, que incorporó dichas estrategias, y el muro de construcción convencional. Estas estrategias aplicadas a los paneles prefabricados contribuyen al desarrollo de viviendas de alta calidad, ya que, además de simplificar el proceso constructivo gracias a su naturaleza prefabricada, mejoran la capacidad de transmitir calor hacia el interior de la vivienda, generando así ambientes con un óptimo confort térmico para los ocupantes. Por consiguiente, representan una alternativa viable para su implementación en proyectos de viviendas sociales en Ecuador, lo cual conllevaría a la reducción del déficit habitacional cualitativo del país y a la disminución del consumo energético y el impacto ambiental asociados.

6.02 Recomendaciones

Para finalizar esta investigación, se presentan las siguientes recomendaciones basadas en los hallazgos obtenidos:

1. *Concientización sobre la importancia de la transmitancia térmica en el confort de una vivienda:*

Se recomienda promover y concientizar a la comunidad acerca de los beneficios y la eficacia de la implementación de estrategias de optimización de la transmitancia térmica en comparación con los métodos de construcción convencionales. Es de vital importancia difundir información y demostrar cómo estas estrategias pueden mejorar el confort y la calidad de vida de las personas, especialmente en regiones con clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo. Además, se sugiere instar a las autoridades responsables de la construcción de viviendas sociales a considerar la implementación de estas estrategias en la construcción de envolventes, con el objetivo de proporcionar a las personas viviendas más confortables y elevar su calidad de vida en este aspecto.

2. *Continuidad de la investigación y análisis:*

Se propone fomentar investigaciones y análisis adicionales que aborden otros aspectos relevantes en la construcción de viviendas que implementen estrategias de optimización de la transmitancia térmica. Por ejemplo, es importante evaluar la variación en los costos de construcción al reemplazar el sistema convencional, así como las diferencias en el tiempo requerido para su construcción, la disponibilidad de materiales y otros factores relacionados. Estos estudios adicionales permitirán determinar si las estrategias de optimización de la transmitancia térmica también tienen otros beneficios en la construcción. En caso de confirmarse su eficacia en otras áreas, se podrá incentivar con mayor énfasis a las autoridades y a los profesionales del sector de la construcción para que adopten estas estrategias como una alternativa viable para mejorar cualitativamente las viviendas.

A decorative graphic on the left side of the page, consisting of several colored rectangles. At the top left is a blue rectangle. Below it is a white rectangle. To the right of the white rectangle is a red rectangle. Below the white and red rectangles is a yellow rectangle. A thick black horizontal bar spans across the page, overlapping the bottom of the white and red rectangles and extending to the right edge.

VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

El modulator de Le Corbusier □ Ensayo sobre la escala humana. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.arquitecturapura.com/arquitectura/el-modulor-10435/>

(20+) Facebook. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://www.facebook.com/photo/?fbid=1315652468818858&set=pcb.1315652868818818>

576edad93c0fcc3c3a23e6e4743cf37a.png (504×470). (s. f.). Recuperado 12 de marzo de 2023, de <https://i.pinimg.com/originals/57/6e/da/576edad93c0fcc3c3a23e6e4743cf37a.png>

ALBERTO MARTÍN RAMÓN LOS PROCESOS DE INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL. (s. f.).

Alibaba. (s. f.). Paneles Sándwich De Poliestireno Expandido En Hungría - Buy Expanded Polystyrene Sandwich Panels In Romania Product on Alibaba.com. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Expanded-Polystyrene-Sandwich-Panels-in-Romania-60571625045.html>

Alva, G., Paz, A., & Apolinar, R. (2018). Análisis de la transmitancia térmica en muros de fachada de una vivienda prefabricada. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 197-210.

APIVE. (2017). Lo más destacado de la construcción prefabricada - Apive. <https://apive.org/destacado-de-la-construccion-prefabricada/>

Arantxa Treva. (s. f.). Grayscale Photo of Three Men Arranging Metal Wall · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/grayscale-photo-of-three-men-arranging-metal-wall-959325/>

Areiel, D. (s. f.). Black and White Photo of Steel Structure · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/black-and-white-photo-of-steel-structure-9281280/>

Arqhys. (2016). La construcción modular. Usos y características principales. https://www.arqhys.com/decoracion/construccion_modular.html

Arquitectura Viva. (2022). Prototipo de un sistema constructivo industrializado. <https://arquitecturaviva.com/obras/prototipo-sistema-constructivo-industrializado>

Arroyo, M., Cortés, F., Cobo, M., & García Segura, A. (2018). Importancia de la calidad en la instalación de elementos prefabricados en edificación. *Informes de la Construcción*, 70(550), e271.

ASHRAE. (2017). *ASHRAE Handbook - Fundamentals*.

Banco Internacional de Desarrollo. (s. f.). Estudio del BID: América Latina y el Caribe encaran creciente déficit de vivienda | IADB. Recuperado 21 de abril de 2023, de <https://www.iadb.org/es/noticias/estudio-del-bid-america-latina-y-el-caribe-encaran-creciente-deficit-de-vivienda>

Barboza, A. da S. R., Silva, M. M. C. P., Silva, L. L. da, & Araújo Júnior, J. C. de. (2011). A técnica da coordenação modular como ferramenta diretiva de projeto. *Ambiente Construído*, 11(2), 97-109. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000200007>

Barragán, J. (2018). Análisis del efecto de la orientación en el rendimiento energético de una vivienda en clima cálido húmedo. *Revista de la Construcción*, 17(2), 191-198.

Beltrán, J. (2022). La vivienda hace que Cuenca sea la ciudad más cara del país. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/vivienda-cuenca-ciudad-cara-ecuador/Bilca>. (2016). PANEL DE FACHADA | Bilca – Bilbaina de canalones y accesorios. <https://bilca.com/producto/panel-de-fachada/>

Blázquez, M., Ayuga, F., & Peña García, A. (2015). Análisis de la influencia del aislamiento térmico en la eficiencia energética de viviendas prefabricadas. *Revista de la Construcción*, 14(3), 55-63.

Borraz, S. (2022). Evolución del precio de la vivienda en el mundo • Mercados e Investigación. <https://mercadoeinvestigacion.com/evolucion-del-precio-de-la-vivienda-en-el-mundo/>

Britannica. (2013). Prefabrication | construction | Britannica. <https://www.britannica.com/technology/prefabrication#ref1238576>

Calderería COALCA. Moldes automáticos para viaducto de vigas cajón (España). Moldes para Prefabricados de Hormigón. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <http://www.coalca.net/Obra.asp?Id=4>

Castro, A., García-Sánchez, A., & Sánchez-Rodríguez, F. J. (2019). Influencia de la instalación en la transmitancia térmica de las envolventes opacas. *Informes de la Construcción*, 71(554), e336.

Cepeda, F. J. T. (2012). EL PROYECTO ARKIT. LA VIVIENDA COMO KIT DE MUEBLES. proyecto, progreso, arquitectura, (6), 114-129. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=517651583008>

Chazaro Rosario, C. (2019). Elaboración. CIC Arquitectura y Sostenibilidad. (2022). UIA 2022: "El 80% de la población mundial no tiene acceso a una vivienda digna". <https://www.cicconstruccion.com/texto-diario/mostrar/3762981/ui-2022-80-poblacion-mundial-no-tiene-acceso-vivienda-digna>

Colocar un burlete adhesivo y aislar con vidrio doble - Esmihobby. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://www.esmijovi.com/colocar-un-burlete-adhesivo-y-aislar-con-vidrio-doble/>

Constructora Quid – Prefabricados de México. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://cquid.com/>

Construmatica. (s. f.). Ventajas y Desventajas de la Construcción Prefabricada - Blog Construmatica. Recuperado 4 de marzo de 2023, de <https://www.construmatica.com/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-construccion-prefabricada/>

cottonbro studio. (s. f.). White and Black Polka Dot Wall · Free Stock Photo. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/white-and-black-polka-dot-wall-4324019/>

d8cd396646a0ef8196aa4fdc243fe13c.jpg (600×880). (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://i.pinimg.com/736x/d8/cd/39/d8cd396646a0ef8196aa4fdc243fe13c.jpg>

David Dibert. (s. f.). Turned on Light Crane · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/turned-on-light-crane-1117211/>

David McElwee. (s. f.). Close up of Screws and Pylons · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/close-up-of-screws-and-pylons-12324113/>

Dávila Noboa, C. G., & Villavicencio Ramos, M. F. (2014). «MODELO PARA EL USO Y MANTENIMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE INTERÉS SOCIAL EN EL ZONAS RURALES ALEDAÑAS».

De, M., Urbano, D., Cristóbal, V. A., Chica Martínez, L., Gustavo, A., Ordóñez, R., Lorena, A. J., & Zambrano, A. (s. f.). Ing. Adrián David Sandoya Unamuno.

Díez Martínez, D. (2019). Especulación residencial. Experimentos arquitectónicos y negocio inmobiliario en la conformación del suburbio estadounidense de posguerra. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962019000200082>

Dr Photographer. (s. f.). Old Wooden Door in a Red Brick Building · Free Stock Photo. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/old-wooden-door-in-a-red-brick-building-15862293/>

Ecuador Verifica. (2021). Déficit de viviendas en Ecuador es mayor al dicho por el Ministro Herrera - Ecuador Verifica. <https://ecuadorverifica.org/2021/06/22/deficit-viviendas-en-ecuador-es-mayor-al-dicho-por-ministro-herrera/>

Ekaterina Astakhova. (s. f.). Ornamental relief of old column in museum · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/ornamental-relief-of-old-column-in-museum-7572273/>

elEconomista. (2021). ¿Las casas prefabricadas son más baratas que las viviendas tradicionales? <https://www.economista.es/actualidad/noticias/11403855/09/21/Las-casas-prefabricadas-son-mas-baratas-que-las-viviendas-tradicionales.html>

EMUVI. (s. f.-a). Casa Modelo Proyecto Los Capulíes | EMUVI - Empresa Pública Municipal de Urbanización y Vivienda de Cuenca. Recuperado 1 de junio de 2023, de <https://www.emuvi.gob.ec/content/casa-modelo-proyecto-los-capul%C3%ADes>

EMUVI. (s. f.-b). PROYECTO MIRAFLORES | EMUVI - Empresa Pública Municipal de Urbanización y Vivienda de Cuenca. Recuperado 29 de mayo de 2023, de <https://www.emuvi.gob.ec/content/proyecto-miraflores-0>

Engin A. (s. f.). Yellow and Black Heavy Equipment on Snow Covered Ground · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/yellow-and-black-heavy-equipment-on-snow-covered-ground-4170184/>

Estudio del BID: América Latina y el Caribe encaran creciente déficit de vivienda | IADB. (s. f.). Recuperado 27 de febrero de 2023, de <https://www.iadb.org/es/noticias/estudio-del-bid-america-latina-y-el-caribe-encaran-creciente-deficit-de-vivienda>

Eurocasa. (2022). Historia de la construcción prefabricada- Casas prefabricadas y viviendas prefabricadas. <https://eurocasas.com/historia-de-las-construccion-prefabricada/>

Ferrer Forés, J. J. (2011). System house: prefabricación y estandarización. 26-29.

Flores, L. E. L. (s. f.). IMPACTO AMBIENTAL E INTERACCIÓN CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL MEXICANO: ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PREFABRICADOS. Recuperado 3 de marzo de 2023, de www.conexaoacademica.net

FORBES. (2023). El precio de la vivienda subió un 8,4% en diciembre y un 0,4% en tasa mensual, según Tinsa - Forbes España. <https://forbes.es/ultima-hora/219308/el-precio-de-la-vivienda-subio-un-84-en-diciembre-y-un-04-en-tasa-mensual-segun-tinsa/>

Foto de construcción, demolido, destruido, excavadora, industria, maquinaria, restos, roto, trabajando. (s. f.). Recuperado 29 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/es-es/foto/construccion-trabajando-industria-roto-15804049/>

García, Á. F. (s. f.). La conducción del calor. Ley de Fourier. Recuperado 5 de abril de 2023, de http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/transporte/cond_calor/conduccion/conduccion.html

García Rojo, L. M., García Martos, M. C., & González Melendi, M. P. (2014). Evaluación del efecto de la geometría y estructura en la conductividad térmica de materiales porosos. *Anales de Química*, 110(1), 33-41.

García-Valcárcel, A., Sánchez-Silva, M., & Navarro-Hervás, C. (2018). Evaluation of eco-friendly materials for sustainable construction: A review of asbestos alternatives. *Journal of cleaner production*, 192, 411-426.

Global STD. (2020). Norma internacional ISO para la construcción sostenible - GlobalSTD. <https://www.globalstd.com/blog/norma-internacional-iso-para-la-construccion-sostenible/>

Gómez, L., Monserrat, B., & Cuscó, R. (2014). Influence of impurities on the thermal conductivity of semiconducting materials: a review. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25(11), 4802-4813.

González, A. (2021). Casas prefabricadas: qué son, historia y evolución – Moove Magazine. <https://moovemag.com/2021/03/casas-prefabricadas-que-son-historia-y-evolucion/>

González, A., Pérez, G., & Fonseca, N. (2017). Aislamiento térmico en la construcción: análisis de los materiales más utilizados en el mercado español. DYNA Ingeniería e Industria, 92(3), 301-306.

González García, A., Hernández López, A., González Díaz, M., & González Camacho, R. (2018). Efecto de las deficiencias en la envolvente térmica de los edificios en su rendimiento energético. Informes de la Construcción, 70(549), e271.

Haaataddss Vvvveeda, M., & Cc Ggeeeaa Habitar Y Tecnología En La Vivienda Prefabricada Contemporánea Prooecto, P. E. T. (2012). HABITAR Y TECNOLOGÍA EN LA VIVIENDA PREFABRICADA CONTEMPORÁNEA. proyecto, progreso, arquitectura, (6), 16-33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=517651583002>

Henry & Co. (s. f.). Concrete Building · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/concrete-building-2628393/>

Hilary Halliwell. (s. f.). White Framed Glass Window · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/white-framed-glass-window-1031407/>

Hla Mong U Marma. (s. f.). Foto de stock gratuita sobre blanco y negro, hombre, labor, ladrillos, monocromo, piedras, trabajando. Recuperado 1 de junio de 2023, de <https://www.pexels.com/es-es/foto/hombre-trabajando-ladrillos-piedras-5582368/>

Holman, J. D. (2011). Transferencia de calor. McGraw-Hill.

Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2006). Fundamentals of heat and mass transfer. 6. <https://hyominsite.files.wordpress.com/2015/03/fundamentals-of-heat-and-mass-transfer-6th-edition.pdf>

INEC. (2011). Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico NSE 2011 Presentación agregada.

Información Ecuador. (2023). Precios de materiales de construcción en Ecuador PDF 2021. <https://informacionecuador.com/precios-de-materiales-de-construccion-en-ecuador-catalogo/>

Ing. Civil. (s. f.). Manual de diseño de estructuras metálicas. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.cuevadelcivil.com/2016/03/manual-diseno-estructuras-metalicas.html>

Irina Zhur. (s. f.). Gray Concrete Blocks With Hole · Free Stock Photo. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/gray-concrete-blocks-with-hole-10786559/>

ISO. (s. f.). ISO - International Organization for Standardization. Recuperado 5 de abril de 2023, de <https://www.iso.org/home.html>

ISO. (2017). Building components and building elements -Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods. <https://www.iso.org/standard/65708.html>

Jean Prouvé - Design Masters New York Lot 311 December 2015 | Phillips. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://www.phillips.com/detail/jean-prouve/NY050315/311>

Justen, W. (s. f.). Woman in Kimono Kneeling on the Floor · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/woman-in-kimono-kneeling-on-the-floor-15829773/>

Kemppi Oy. (2023). ¿Qué es la soldadura? Explicación detallada de la soldadura - Kemppi. <https://www.kemppi.com/es-ES/asistencia/fundamentos-de-soldadura/que-es-la-soldadura/>

Koncz, T. (1968). Manual de la construcción prefabricada con elementos de hormigón armado y de hormigón pretensado: construcción, cálculo y ejecución (Vol. 1). Blume.

Koncz, T. (1977). Construcción Industrializada. Hermann Blume.

La Hora. (2022). La construcción de viviendas no cubre ni la mitad de la demanda anual de las nuevas familias – Diario La Hora. <https://www.lahora.com.ec/pais/vivienda-acceso-familias-contruccion-deficit/>

La ONU alerta de que una de cada cuatro personas vivirá en 'slums' en una década | Planeta Futuro | EL PAÍS. (s. f.). Recuperado 27 de febrero de 2023, de https://elpais.com/elpais/2016/06/15/planeta_futuro/1465998629_883279.html

Lana Mineral Aislante Térmico – DTA México | Su Solución Al Ahorro de Energía. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://www.dtamexico.com.mx/lana-mineral-aislante-termico/>

Lawson, M., Ogden, R., & Goodier, C. (2014). Design in Modular Construction. <https://doi.org/10.1201/B16607>

Lee, J. (s. f.). Modern building exterior with geometric walls · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/modern-building-exterior-with-geometric-walls-6434779/>

Loblolly House | Prefabricated Architecture Integrated with Nature. (s. f.-a). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://kierantimberlake.com/pages/view/20>

Loblolly House | Prefabricated Architecture Integrated with Nature. (s. f.-b). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://kierantimberlake.com/page/loblolly-house>

Longa, K. (s. f.). Brown, Black, And White Tiles · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/brown-black-and-white-tiles-1652544/>

Lopez, C. (s. f.). El Castillo Under Blue Sky · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/el-castillo-under-blue-sky-14632604/>

Maksim Istomin. (s. f.). A Woman Getting Warm Near a Bon Fire · Free Stock Photo. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/a-woman-getting-warm-near-a-bon-fire-9215640/>

Manzanares, R. (2021). Materiales prefabricados ideales para construir tu hogar | Constructora Creaciones El Salvador. <https://creacionessv.com/materiales-prefabricados-ideales-para-construir-tu-hogar/>

Marquit, A., & Limandri, R. D. (2013). December 2013 From Sears & Roebuck to Skyscrapers: A History of Prefabricated and Modular Housing.

Mehmet Turgut Kirkgoz. (s. f.). Blacksmith Heating Up Metal Pot over Fire · Free Stock Photo. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/blacksmith-heating-up-metal-pot-over-fire-14050318/>

MIDUVI. (2021a). Déficit Habitacional Nacional – MIDUVI – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/deficit-habitacional-nacional/MIDUVI>. (2021b). Déficit Habitacional Nacional – MIDUVI – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/deficit-habitacional-nacional/Ministerio-de-Desarrollo-Urbano-y-Vivienda>. (2023). Norma Ecuatoriana de la Construcción. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Monstera. (s. f.). Armchair near potted plant and white board on wall · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/armchair-near-potted-plant-and-white-board-on-wall-6373660/>

Myburgh Roux. (s. f.). White Roof Of House Under Blue Sky · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/white-roof-of-house-under-blue-sky-2513975/>

Naciones Unidas. (s. f.-a). Consumo y producción sostenibles - Desarrollo Sostenible. Recuperado 27 de febrero de 2023, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

Naciones Unidas. (s. f.-b). Sostenibilidad | Naciones Unidas. Recuperado 5 de marzo de 2023, de <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/sostenibilidad>

Novas Cabrera, J. A. (2010). Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países de desarrollo.

ODS3. 1.800 millones de personas carecen de una vivienda adecuada | Corresponsables.com España. (s. f.). Recuperado 27 de febrero de 2023, de <https://www.corresponsables.com/actualidad/ods3-1800millones-personas-carecen-vivienda-adeuada>

Olvera, R. (s. f.). A Building with Glass Panels · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/a-building-with-glass-panels-15368205/>

ONU HABITAT. (2020). ONU-Habitat - Vivienda: inviable para la mayoría. <https://onu-habitat.org.mx/index.php/vivienda-inviable-para-la-mayoria>

Pacheco-Torgal, F., T. V. W. Y., Labrincha, J. A., Ding, Y., & de Magalhães, A. G. (2019). Designing sustainable buildings in a changing climate. Springer International Publishing.

Peinado, M. P. (1975). Prefabricados de hormigón. CEAC.

Pérez, G., Torres, L., & Hernández, M. (2016). Evaluación térmica de edificios prefabricados mediante simulación numérica. Dyna, 83(199), 62-68.

Pixabay. (s. f.-a). Brown Wooden Door Near Body of Water · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/brown-wooden-door-near-body-of-water-210547/>

Pixabay. (s. f.-b). Grayscale Photography of Scaffolding · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/grayscale-photography-of-scaffolding-53176/>

Place on it. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://placeonit.com/journal/la-vivienda-prefabricada-de-Jean-Prouve>

Pourrut, & Pierre. (1983). Los climas del Ecuador : fundamentos explicativos.

Preciosmundi. (2023). Precios de vivienda y salarios en Ecuador 2023. <https://preciosmundi.com/ecuador/precio-vivienda-salarios>

Prototipo de un sistema constructivo industrializado - Ignacio Rojas Hirigoyen The Andes House | Arquitectura Viva. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://arquitecturaviva.com/obras/prototipo-sistema-constructivo-industrializado>

Qué son los ODS u Objetivos de Desarrollo Sostenible | Open News. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://www.openbank.es/open-news/objetivos-desarrollo-sostenible-ods/>

RAE. (2022). panel | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE. <https://dle.rae.es/panel>

Ramos, M. Á. L., & Cabal, R. Á. (2019). Patología en estructuras resueltas con elementos prefabricados de hormigón. Hormigón y Acero, 70(287), 31-46. <https://www.hormigonyacero.com/index.php/ache/article/view/2039>

Regional Sur. (2015). El Telégrafo - El déficit en Cuenca es de 45 mil viviendas, según Cabildo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/el-deficit-en-cuenca-es-de-45-mil-viviendas-segun-cabildo>

Reinoso Angulo, E., Rodríguez, M. E., & Betancourt Ribotta, R. (s. f.). Manual De Diseno De Estructuras Prefabricadas Y Presforzadas. Recuperado 4 de marzo de 2023, de <https://www.calameo.com/read/0049095859512781a88a3>

Cabildo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/el-deficit-en-cuenca-es-de-45-mil-viviendas-segun-cabildo>

Reinoso Angulo, E., Rodríguez, M. E., & Betancourt Ribotta, R. (s. f.). Manual De Diseno De Estructuras Prefabricadas Y Presforzadas. Recuperado 4 de marzo de 2023, de <https://www.calameo.com/read/0049095859512781a88a3>

Reiser Gasser, J. (2005). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU LA RACIONALIZACION Y PREFABRICACION DE LA CONSTRUCCION, UNA EXPERIENCIA PERSONAL.

Revista construye. (2023). REVISTA CONSTRUYE - Ventajas y desventajas de la construcción prefabricada. <https://www.revistaconstruye.com.mx/noticias/5500-%C2%A1ventajas-y-desventajas-de-la-construcci%C3%B3n-prefabricada.html>

Rick, B. (s. f.). Kranland Niederlande - Hansebubeforum. Recuperado 22 de abril de 2023, de <http://www.hansebubeforum.de/showtopic.php?threadid=9178&pagenum=30>

Rohm, W. (1977). LA PREFABRICACIÓN (1a ed). BLUME.

Rojas, I., Domínguez, C., Rojas, I., & Domínguez, C. (2022). Deconstruyendo la práctica. Prototipo de sistema constructivo industrializado. Casablanca, Chile, 2021. ARQ (Santiago), 2022(112), 114-127. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962022000300114>

Rojo-Mendoza, F. (2021). Los gustos espaciales y las expectativas residenciales en Chile: El principio del derecho a la vivienda. Bitacora Urbano Territorial, 31(2), 87-99. <https://doi.org/10.15446/BITACORA.V31N2.89491>

Sandoya. (s. f.). Ing. Adrián David Sandoya Unamuno.

Santos Arango, C. (2022). La prefabricación como modelo sostenible de construcción.

Satre Satre, R., & Muñoz Salinas, F. (2010). Propiedades de los materiales.pdf - Google Drive. <https://drive.google.com/file/d/1273wVe6a3Libh1lz1DEApsOKFSRANRen/view>

Secretaría Nacional de Planificación. (2021). Plan de Creación de Oportunidades 2021 2025.

Servicio Ecuatoriano de Normalización. (s. f.). Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN – Ecuador. Recuperado 5 de abril de 2023, de <https://www.normalizacion.gob.ec/>

SGCP. (2022). El Gobierno Nacional dignifica el trabajo de los ecuatorianos mediante el aumento del Salario Básico Unificado para el 2023 – Secretaría General de Comunicación de la Presidencia. <https://www.comunicacion.gob.ec/el-gobierno-nacional-dignifica-el-trabajo-de-los-ecuatorianos-mediante-el-aumento-del-salario-basico-unificado-para-el-2023/>

Simioni, A. P. C. (2012). Anatomia de um Móvel Moderno: algumas questões em torno do Mobiliário da Casa Modernista, de Gregori Warchavchik. ARS (São Paulo), 10(20), 46-59. <https://doi.org/10.11606/ISSN.2178-0447.ARS.2012.64421>

SkyCiv Engineering. (2022). Pernos y conexiones atornilladas | SkyCiv Engineering. <https://skyciv.com/es/docs/skyciv-connection-design/steel-connection-articles/bolts-used-in-bolted-connections/>

Soto Ardila, C. C. (2022). SISTEMA CONSTRUCTIVO PREFABRICADO (OFF SITE).

Sparkman, G., Gibb, A., & Neale, R. (1999). Standardisation and pre-assembly—adding value to construction projects. <https://oa.mg/work/10.1080/01446190010020435>

Storm, S. (s. f.). Edificio De Hormigón Negro · Foto de stock gratuita. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/es-es/foto/edificio-de-hormigon-negro-425058/>

Taryn Elliott. (s. f.). Photo Of Dessert During Dawn · Free Stock Photo. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/photo-of-dessert-during-dawn-3889894/>

Termiser. (2018). Qué es un ENCOFRADO en construcción | Termiser. https://www.termiser.com/encofrado-en-construccion-que-es/#Que_es_un_encofrado

Tima Miroshnichenko. (s. f.). Melting Steel · Free Stock Photo. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/melting-steel-5845914/>

Tom Fisk. (s. f.). Unrecognizable man working on street near railway · Free Stock Photo. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/unrecognizable-man-working-on-street-near-railway-5590343/>

Torero, J. L. (2006). Fenómenos de transporte y transferencia de calor en ingeniería química. Universidad Carlos III de Madrid.

Torres, W. (2021). El déficit de vivienda alcanza a 2,7 millones de unidades, según Miduvi. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/miduvi-deficit-vivienda-ecuador/>

Transmitancia Térmica | 33 claves +1 | 33 claves | Un modelo para la vivienda colectiva sostenible en el Ecuador. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2023, de <https://vivienda-colectiva.uazuay.edu.ec/eficiencia-energetica/transmitancia-termica>

Trotta, T. (2016). La ONU alerta de que una de cada cuatro personas vivirá en 'slums' en una década | Planeta Futuro | EL PAÍS. https://elpais.com/elpais/2016/06/15/planeta_futuro/1465998629_883279.html

Underland, D. (s. f.). Blue Glass Walled High Rise Building · Free Stock Photo. Recuperado 30 de mayo de 2023, de <https://www.pexels.com/photo/blue-glass-walled-high-rise-building-3610042/>

Xataka. (s. f.). Más duros que el hormigón pero mucho más ecológicos: convierten toneladas de plástico no reciclable en bloques para construcción. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.xataka.com/otros/duros-que-hormigon-mucho-ecologicos-convierten-toneladas-plastico-no-reciclable-bloques-para-construccion>

Yan, Y., Han, X., Li, Y., & Zhang, W. (2020). Effect of thickness on thermal conductivity of glass wool. Journal of Physics: Conference Series, 1537(1), 012014.

Zhang, J., Lin, B., Gao, X., Zhang, L., Huang, X., & Gao, L. (2019). Analysis of the influence of insulation thickness on the energy efficiency of buildings in severe cold regions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 361(4), 042033.

Zhao, B., Wei, Z., & Chen, G. (2017). Temperature dependence of thermal conductivity of solids: a review. Frontiers in Energy, 11(2).

Zhovkva, O. (2020). Energy efficiency and environmental friendliness, as important principles of sustainability for multifunctional complexes. Revista ingeniería de construcción, 35(3), 308-320. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000300308>

Владимир Васильев. (s. f.). Foto de stock gratuita sobre abrigo, adornos de navidad, de pie, diseñar, frío, invierno, moda, mujer, navidad, nevar, puerta, puertas, rubia, sonriendo, tiro vertical. Recuperado 1 de junio de 2023, de <https://www.pexels.com/es-es/foto/resfriado-nieve-moda-mujer-15872756/>



VIII

ANEXOS

ANEXO 1 : Ficha de valoración original de referentes

Ficha de valoración ORIGINAL		
Nombre del proyecto:		
Autores:		
País:		
Año:		
	SI	NO
El tamaño, proporción y forma de los espacios tiene relación con su uso		
Los espacios se organizan jerárquicamente		
La estructura está modulada		
Las zonas húmedas están agrupadas adecuadamente de acuerdo a la escala y tipo de proyecto		
Los espacios tienen iluminación y ventilación natural de acuerdo a su uso		
El proyecto aprovecha el soleamiento en cuanto a su uso		
El proyecto considera el contexto (construido o natural)		
El proyecto cuenta con espacios funcionalmente versátiles		
La volumetría es clara y comprensible		
El aspecto del proyecto es coherente con su uso		
Existe una disposición adecuada de los elementos que conforman las fachadas del proyecto		
Los espacios planteados son todos los necesarios para el uso del proyecto		
Los espacios interiores tienen una correcta relación entre ellos		
Existe coherencia entre la estructura y función del proyecto		
La estructura permite potenciar las características expresivas del proyecto		
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica		

ANEXO 2 : Ficha de valoración de referentes modificada

FICHA DE VALORACIÓN DE REFERENTES		
Nombre del proyecto:		
Autores:		
País:		
Año:		
PREFABRICACIÓN	0	1
Los paneles están modulados		
Los elementos han sido diseñados considerando los estándares de transporte (son de fácil transporte).		
Cuenta con uniones simples		
Los sistemas constructivos empleados contemplan métodos sencillos de ensamblaje		
Para el montaje de elementos no se requiere maquinaria o instrumentos especiales		
El proceso construcción está sistematizado y ordenado		
La mano de obra para el montaje no necesita ser especializada		
No se emplean materiales o elementos costosos		
Los materiales son reciclados o de bajo impacto ambiental		
Los materiales y el sistema constructivo permite el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida		
Las dimensiones de los materiales originales han sido considerados para evitar desperdicios		
El sistema da una respuesta satisfactoria a consideraciones de sostenibilidad		
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica		
Los materiales empleados son productos estandarizados		
EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA	0	1
La modulación empleada es homogénea		
Los paneles tienen formas geométricas simples		
Se emplean los materiales y sistemas constructivos adecuados en conformidad al clima		
Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica		
Los materiales hacia el exterior son impermeables		
Hacia el interior los materiales son termoestables		
Se emplean materiales aislantes		
Los materiales colocados son ignífugos		
El espesor de los muros se justifica		
Las puertas y ventanas complementan la transmitancia térmica de las envolventes		
Cuenta con uniones herméticas para garantizar la estanqueidad al agua y al viento		
Se emplean juntas aislantes para evitar generar puentes térmicos		
Se sellan las juntas al finalizar		
Emplea fuentes de energía alternativa		
TOTAL	0	0

ANEXO 3 : Contestaciones de fichas de valoración de referentes

FICHA DE VALORACIÓN DE REFERENTES		
Nombre del proyecto: Prototipo de un sistema constructivo industrializado		
Autores: Ignacio Rojas Hirigoyen y The Andes House		
País: Chile		
Año: 2022		
PREFABRICACIÓN	0	1
Los paneles están modulados		X
Los elementos han sido diseñados considerando los estándares de transporte (son de fácil transporte).	X	
Cuenta con uniones simples	X	
Los sistemas constructivos empleados contemplan métodos sencillos de ensamblaje	X	
Para el montaje de elementos no se requiere maquinaria o instrumentos especiales	X	
El proceso construcción está sistematizado y ordenado	X	
La mano de obra para el montaje no necesita ser especializada	X	
No se emplean materiales o elementos costosos	X	
Los materiales son reciclados o de bajo impacto ambiental	X	
Lo materiales y el sistema constructivo permite el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida	X	
Las dimensiones de los materiales originales han sido considerados para evitar desperdicios	X	
El sistema da una respuesta satisfactoria a consideraciones de sostenibilidad	X	
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica	X	
Los materiales empleados son productos estandarizados	X	
EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA	0	1
La modulación empleada es homogénea	X	
Los paneles tienen formas geométricas simples	X	
Se emplean los materiales y sistemas constructivos adecuados en conformidad al clima	X	
Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica	X	
Los materiales hacia el exterior son impermeables	X	
Hacia el interior los materiales son termoestables	X	
Se emplean materiales aislantes	X	
Los materiales colocados son ignífugos	X	
El espesor de los muros se justifica	X	
La puertas y ventanas complementan la transmitancia térmica de las envolventes	X	
Cuenta con uniones herméticas para garantizar la estanqueidad al agua y al viento	X	
Se emplean juntas aislantes para evitar generar puentes térmicos	X	
Se sellan las juntas al finalizar	X	
Emplea fuentes de energía alternativa	X	
TOTAL		22

FICHA DE VALORACIÓN DE REFERENTES		
Nombre del proyecto: 6x6 Demountable house		
Autores: Jean Prouvé		
País: Francia		
Año: 1944		
PREFABRICACIÓN	0	1
Los paneles están modulados		X
Los elementos han sido diseñados considerando los estándares de transporte (son de fácil transporte).		X
Cuenta con uniones simples		X
Los sistemas constructivos empleados contemplan métodos sencillos de ensamblaje		X
Para el montaje de elementos no se requiere maquinaria o instrumentos especiales		X
El proceso construcción está sistematizado y ordenado		X
La mano de obra para el montaje no necesita ser especializada		X
No se emplean materiales o elementos costosos		X
Los materiales son reciclados o de bajo impacto ambiental		X
Lo materiales y el sistema constructivo permite el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida		X
Las dimensiones de los materiales originales han sido considerados para evitar desperdicios	X	
El sistema da una respuesta satisfactoria a consideraciones de sostenibilidad		X
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica		X
Los materiales empleados son productos estandarizados		X
EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA	0	1
La modulación empleada es homogénea		X
Los paneles tienen formas geométricas simples		X
Se emplean los materiales y sistemas constructivos adecuados en conformidad al clima		X
Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica		X
Los materiales hacia el exterior son impermeables		X
Hacia el interior los materiales son termoestables		X
Se emplean materiales aislantes		X
Los materiales colocados son ignífugos	X	
El espesor de los muros se justifica		X
La puertas y ventanas complementan la transmitancia térmica de las envolventes		X
Cuenta con uniones herméticas para garantizar la estanqueidad al agua y al viento		X
Se emplean juntas aislantes para evitar generar puentes térmicos		X
Se sellan las juntas al finalizar		X
Emplea fuentes de energía alternativa		X
TOTAL		26

FICHA DE VALORACIÓN DE REFERENTES		
Nombre del proyecto: Casa Loblolly		
Autores: Kieran Timberlake Associates		
País: Estados Unidos		
Año: 2014		
PREFABRICACIÓN	0	1
Los paneles están modulados	X	
Los elementos han sido diseñados considerando los estándares de transporte (son de fácil transporte).	X	
Cuenta con uniones simples		X
Los sistemas constructivos empleados contemplan métodos sencillos de ensamblaje		X
Para el montaje de elementos no se requiere maquinaria o instrumentos especiales	X	
El proceso construcción está sistematizado y ordenado		X
La mano de obra para el montaje no necesita ser especializada		X
No se emplean materiales o elementos costosos		X
Los materiales son reciclados o de bajo impacto ambiental	X	
Lo materiales y el sistema constructivo permite el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida		X
Las dimensiones de los materiales originales han sido considerados para evitar desperdicios	X	
El sistema da una respuesta satisfactoria a consideraciones de sostenibilidad		X
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica		X
Los materiales empleados son productos estandarizados		X
EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA	0	1
La modulación empleada es homogénea	X	
Los paneles tienen formas geométricas simples		X
Se emplean los materiales y sistemas constructivos adecuados en conformidad al clima		X
Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica		X
Los materiales hacia el exterior son impermeables		X
Hacia el interior los materiales son termoestables		X
Se emplean materiales aislantes		X
Los materiales colocados son ignífugos	X	
El espesor de los muros se justifica		X
La puertas y ventanas complementan la transmitancia térmica de las envolventes		X
Cuenta con uniones herméticas para garantizar la estanqueidad al agua y al viento		X
Se emplean juntas aislantes para evitar generar puentes térmicos		X
Se sellan las juntas al finalizar	X	
Emplea fuentes de energía alternativa	X	
TOTAL		19

FICHA DE VALORACIÓN DE REFERENTES		
Nombre del proyecto: Burghalde Liestal		
Autores: Stalder y Buol		
País: Suiza		
Año: 1998		
PREFABRICACIÓN	0	1
Los paneles están modulados		X
Los elementos han sido diseñados considerando los estándares de transporte (son de fácil transporte).	X	
Cuenta con uniones simples		X
Los sistemas constructivos empleados contemplan métodos sencillos de ensamblaje		X
Para el montaje de elementos no se requiere maquinaria o instrumentos especiales	X	
El proceso construcción está sistematizado y ordenado		X
La mano de obra para el montaje no necesita ser especializada	X	
No se emplean materiales o elementos costosos		X
Los materiales son reciclados o de bajo impacto ambiental		X
Lo materiales y el sistema constructivo permite el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida	X	
Las dimensiones de los materiales originales han sido considerados para evitar desperdicios		X
El sistema da una respuesta satisfactoria a consideraciones de sostenibilidad	X	
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica		X
Los materiales empleados son productos estandarizados		X
EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA	0	1
La modulación empleada es homogénea		X
Los paneles tienen formas geométricas simples		X
Se emplean los materiales y sistemas constructivos adecuados en conformidad al clima		X
Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica		X
Los materiales hacia el exterior son impermeables	X	
Hacia el interior los materiales son termoestables		X
Se emplean materiales aislantes		X
Los materiales colocados son ignífugos	X	
El espesor de los muros se justifica		X
La puertas y ventanas complementan la transmitancia térmica de las envolventes	X	
Cuenta con uniones herméticas para garantizar la estanqueidad al agua y al viento	X	
Se emplean juntas aislantes para evitar generar puentes térmicos	X	
Se sellan las juntas al finalizar	X	
Emplea fuentes de energía alternativa	X	
TOTAL		16

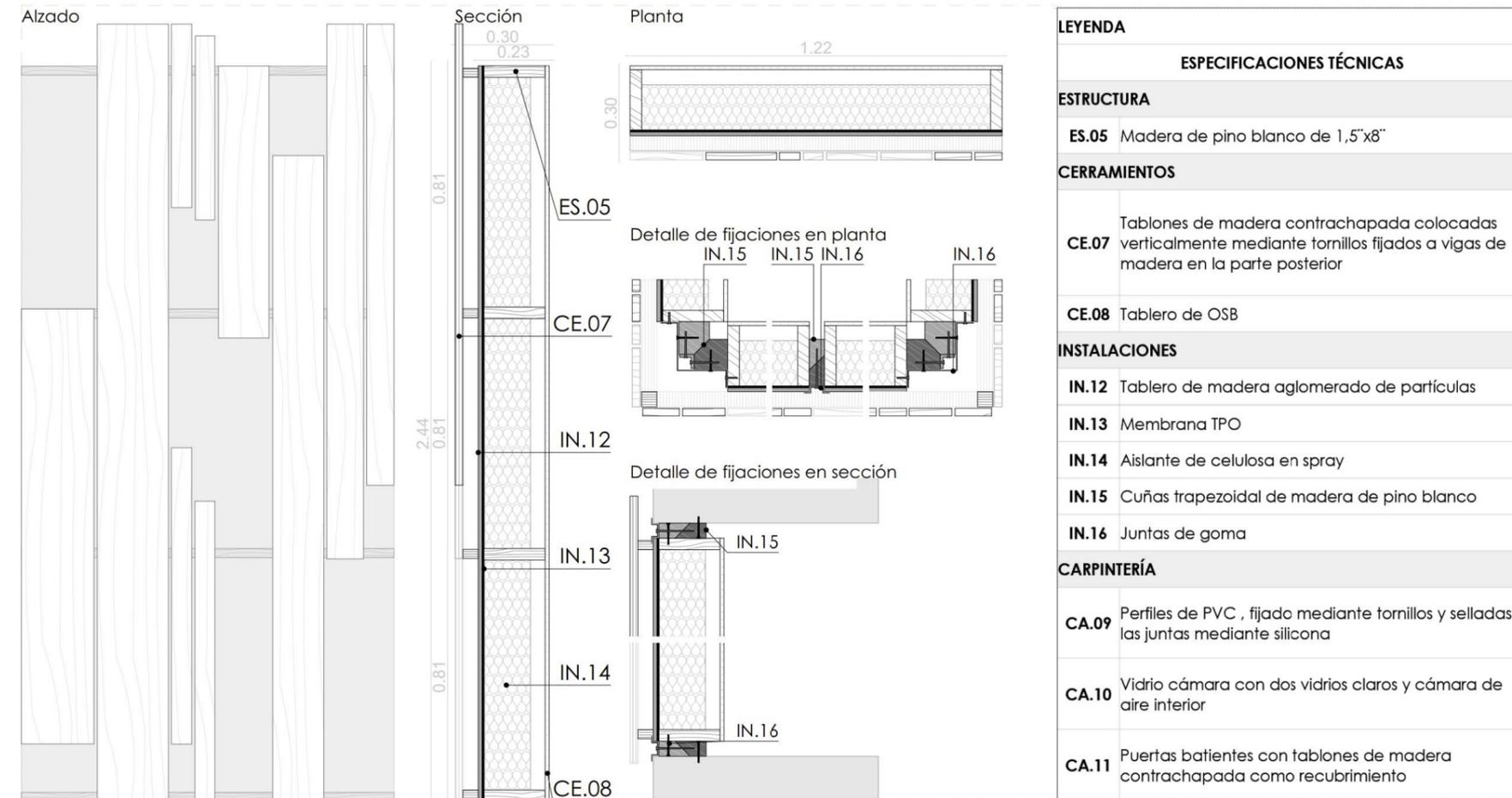
FICHA DE VALORACIÓN DE REFERENTES		
Nombre del proyecto: Modular Dellings 144		
Autores: Edgar Blazona		
País: Estados Unidos		
Año:		
PREFABRICACIÓN	0	1
Los paneles están modulados		X
Los elementos han sido diseñados considerando los estándares de transporte (son de fácil transporte).		X
Cuenta con uniones simples		X
Los sistemas constructivos empleados contemplan métodos sencillos de ensamblaje		X
Para el montaje de elementos no se requiere maquinaria o instrumentos especiales		X
El proceso construcción está sistematizado y ordenado	X	
La mano de obra para el montaje no necesita ser especializada		X
No se emplean materiales o elementos costosos		X
Los materiales son reciclados o de bajo impacto ambiental		X
Lo materiales y el sistema constructivo permite el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida	X	
Las dimensiones de los materiales originales han sido considerados para evitar desperdicios		X
El sistema da una respuesta satisfactoria a consideraciones de sostenibilidad		X
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica		X
Los materiales empleados son productos estandarizados		X
EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA	0	1
La modulación empleada es homogénea	X	
Los paneles tienen formas geométricas simples		X
Se emplean los materiales y sistemas constructivos adecuados en conformidad al clima	X	
Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica	X	
Los materiales hacia el exterior son impermeables		X
Hacia el interior los materiales son termoestables	X	
Se emplean materiales aislantes	X	
Los materiales colocados son ignífugos	X	
El espesor de los muros se justifica	X	
La puertas y ventanas complementan la transmitancia térmica de las envolventes	X	
Cuenta con uniones herméticas para garantizar la estanqueidad al agua y al viento		X
Se emplean juntas aislantes para evitar generar puentes térmicos	X	
Se sellan las juntas al finalizar	X	
Emplea fuentes de energía alternativa	X	
TOTAL		14

FICHA DE VALORACIÓN DE REFERENTES		
Nombre del proyecto: ARKit - Bath house		
Autores: Craig Chatman		
País: Australia		
Año: 2005		
PREFABRICACIÓN	0	1
Los paneles están modulados		X
Los elementos han sido diseñados considerando los estándares de transporte (son de fácil transporte).		X
Cuenta con uniones simples		X
Los sistemas constructivos empleados contemplan métodos sencillos de ensamblaje		X
Para el montaje de elementos no se requiere maquinaria o instrumentos especiales		X
El proceso construcción está sistematizado y ordenado		X
La mano de obra para el montaje no necesita ser especializada		X
No se emplean materiales o elementos costosos		X
Los materiales son reciclados o de bajo impacto ambiental		X
Lo materiales y el sistema constructivo permite el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida	X	
Las dimensiones de los materiales originales han sido considerados para evitar desperdicios		X
El sistema da una respuesta satisfactoria a consideraciones de sostenibilidad		X
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica		X
Los materiales empleados son productos estandarizados		X
EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA	0	1
La modulación empleada es homogénea		X
Los paneles tienen formas geométricas simples		X
Se emplean los materiales y sistemas constructivos adecuados en conformidad al clima	X	
Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica	X	
Los materiales hacia el exterior son impermeables		X
Hacia el interior los materiales son termoestables		X
Se emplean materiales aislantes		X
Los materiales colocados son ignífugos	X	
El espesor de los muros se justifica		X
La puertas y ventanas complementan la transmitancia térmica de las envolventes	X	
Cuenta con uniones herméticas para garantizar la estanqueidad al agua y al viento		X
Se emplean juntas aislantes para evitar generar puentes térmicos	X	
Se sellan las juntas al finalizar	X	
Emplea fuentes de energía alternativa	X	
TOTAL		18

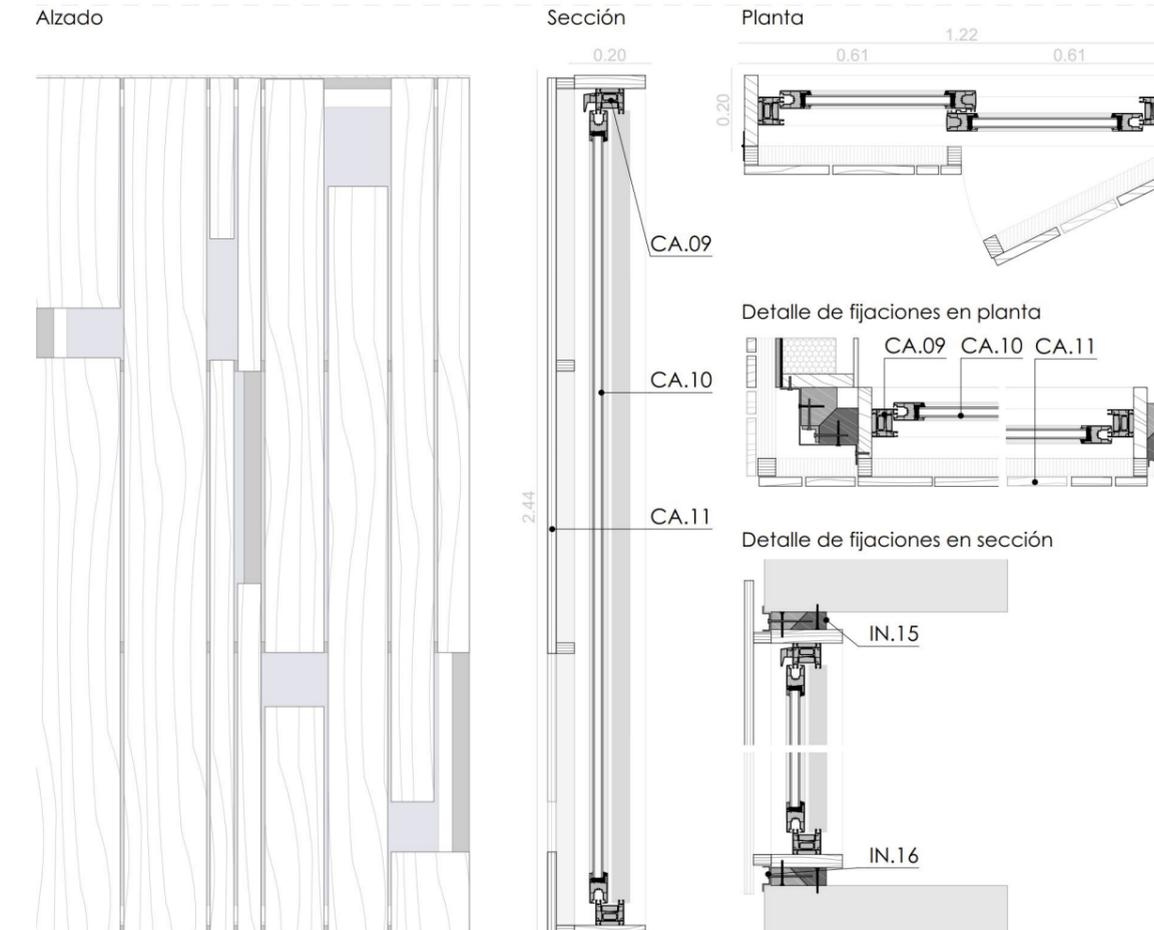
FICHA DE VALORACIÓN DE REFERENTES		
Nombre del proyecto: Prototipo Blue Sky Homes		
Autores: O2 Arquitectura		
País: Estados Unidos		
Año: 2009		
PREFABRICACIÓN	0	1
Los paneles están modulados		X
Los elementos han sido diseñados considerando los estándares de transporte (son de fácil transporte).		X
Cuenta con uniones simples		X
Los sistemas constructivos empleados contemplan métodos sencillos de ensamblaje		X
Para el montaje de elementos no se requiere maquinaria o instrumentos especiales		X
El proceso construcción está sistematizado y ordenado		X
La mano de obra para el montaje no necesita ser especializada		X
No se emplean materiales o elementos costosos	X	
Los materiales son reciclados o de bajo impacto ambiental	X	
Lo materiales y el sistema constructivo permite el desmontaje y la reutilización al finalizar su ciclo de vida	X	
Las dimensiones de los materiales originales han sido considerados para evitar desperdicios		X
El sistema da una respuesta satisfactoria a consideraciones de sostenibilidad		X
La cantidad de materiales y elementos constructivos se justifica		X
Los materiales empleados son productos estandarizados		X
EFICIENCIA ENERGÉTICA - TRANSMITANCIA TÉRMICA	0	1
La modulación empleada es homogénea		X
Los paneles tienen formas geométricas simples		X
Se emplean los materiales y sistemas constructivos adecuados en conformidad al clima		X
Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica	X	
Los materiales hacia el exterior son impermeables		X
Hacia el interior los materiales son termoestables	X	
Se emplean materiales aislantes		X
Los materiales colocados son ignífugos	X	
El espesor de los muros se justifica	X	
La puertas y ventanas complementan la transmitancia térmica de las envolventes	X	
Cuenta con uniones herméticas para garantizar la estanqueidad al agua y al viento		X
Se emplean juntas aislantes para evitar generar puentes térmicos	X	
Se sellan las juntas al finalizar		X
Emplea fuentes de energía alternativa		X
TOTAL		17

ANEXO 4 : Diseño inicial de paneles

MURO CIEGO



VENATANA



ANÁLISIS DE TRANSMITANCIA TÉRMICA

Estructura						
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (W/m ² K)	Energía incorporada (MJ/kg)
ES.05	Estructura	Madera pino blanco	0,038m p= 8,54 m	0,11	0,040	4

Muro ciego						
código	función	materiales	espesor(m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (W/m ² K)	Energía incorporada (MJ/kg)
CE.07	65% revestimiento exterior	madera contrachapada	0,0254 m	0,14	0,181	7
IN.12	capa intermedia	tablero aglomerado de partículas	0,01 m	0,08	0,125	5
IN.13	impermeabilizante	membrana TPO	0,003 m	0,17	0,018	67
IN.14	aislante	celulosa en spray	0,15 m	0,039	3,846	11
CE.08	revestimiento interior	tablero OSB	0.0127 m	0,13	0,098	15

ventana						
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (W/m ² K)	Energía incorporada (MJ/kg)
CA.09	carpintería	Perfiles de PVC	0,06m p= 5,68 m	0,16	0,066	78
CA.010	ventana	vidrio cámara	0,012 m	0,9	0,013	46
CA.11	cerramiento 85%	madera contrachapada	0,0254 m	0,14	0,181	7

Uniones						
código	función	materiales	espesor (m)	conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (W/m ² K)	Energía incorporada (MJ/kg)
IN.15	juntas entre paneles	cuñas de madera pino blanco	0,050 m p= 7,32 m	0,11	0,062	4
IN.16	Juntas entre paneles	juntas de goma natural	0,005 m p= 7,32 m	0,2	0,003	6

Estructura	
U - Transmitancia térmica total	4,75
R - Resistencia térmica total	0,04
Energía incorporada total	4,00

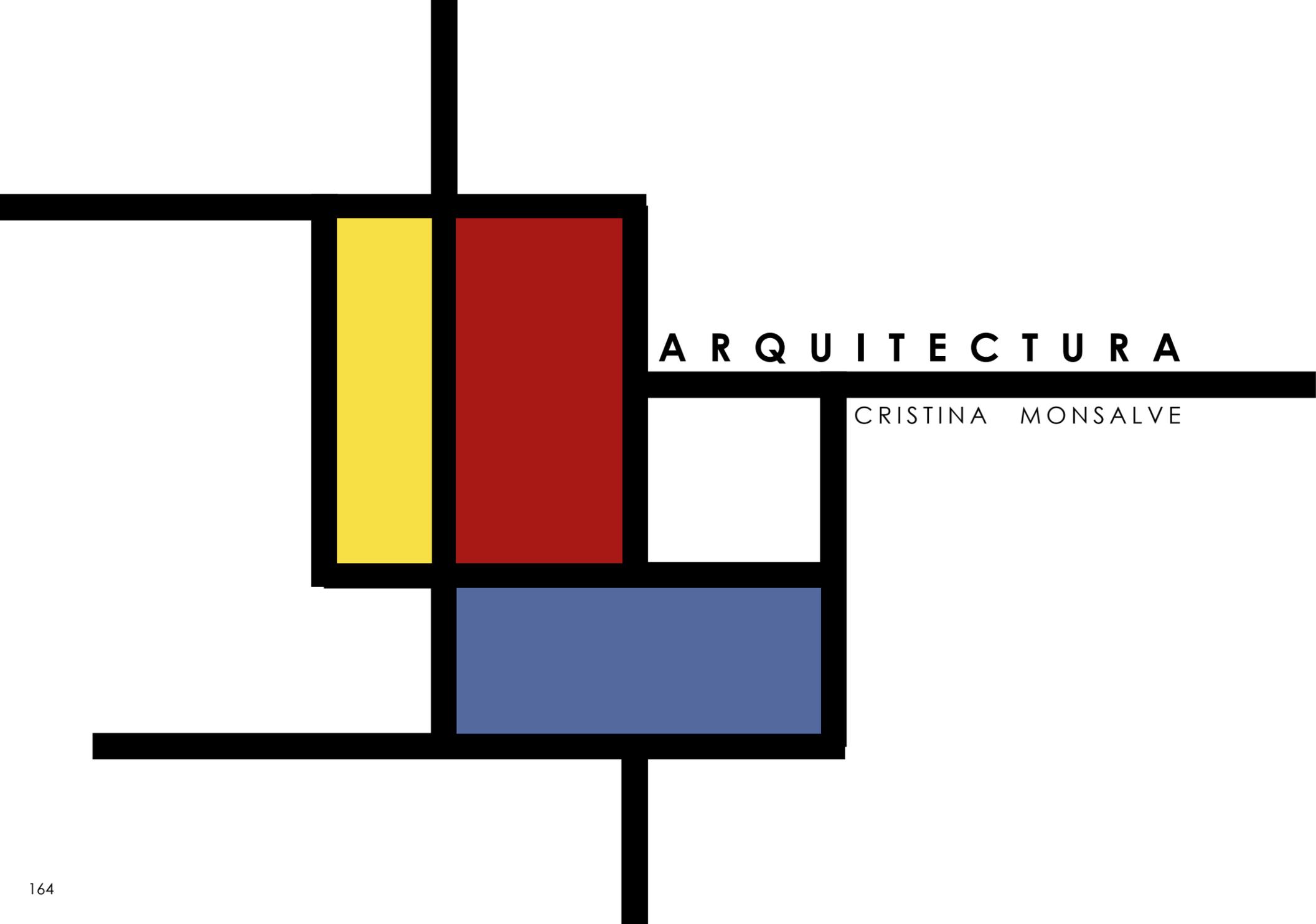
Muro ciego	
U - Transmitancia térmica total	0,23
R - Resistencia térmica del aislamiento	3,85
Energía incorporada total	105,00

Ventana	
U - Transmitancia térmica total	2,32
SHGC - Coeficiente de Ganancia de Calor Solar	0,43
Energía incorporada total	131,00

Uniones	
U - Transmitancia térmica total	4,25
R - Resistencia térmica total	0,07
Energía incorporada total	10,00

ANEXO 5 : Aprobación del abstract

Resumen del proyecto		Abstract of the project	
Título del proyecto:	Estrategias de optimización de la transmitancia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales para vivienda en un clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo	Title of the project:	Thermal transmittance optimization strategies for prefabricated vertical envelope panels for housing in a semi-humid mesothermal equatorial climate.
Subtítulo del proyecto:	.	Project subtitle:	.
Resumen:	En este trabajo se aborda la problemática de déficit habitacional cuantitativo y cualitativo de vivienda en Ecuador y la necesidad de implementar soluciones constructivas más eficientes y adecuadas desde el punto de vista térmico. El objetivo de la investigación es identificar estrategias para mejorar la eficiencia térmica en paneles prefabricados de envolventes verticales para clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, a través de una revisión bibliográfica y el análisis de casos de estudio para, posteriormente, aplicarlas al diseño de un panel optimizado. Los resultados muestran una mejora significativa en la eficiencia térmica y en la energía incorporada de las envolventes propuestas en comparación con métodos constructivos convencionales.	Summary:	This paper addresses the problem of quantitative and qualitative housing deficit in Ecuador and the need to implement more efficient and adequate construction solutions from the thermal point of view. The objective of the research is to identify strategies to improve thermal efficiency in prefabricated vertical envelope panels for equatorial mesothermal semi-humid climate through a literature review and the analysis of case studies, and then apply them to the design of an optimized panel. The results show a significant improvement in the thermal efficiency and embodied energy of the proposed envelopes compared to conventional construction methods.
Palabras clave:	Eficiencia energética, prefabricación, Prototipo de un sistema constructivo industrializado, Demountable House 6x9, Casa Loblolly.	Keywords:	Energy efficiency, prefabrication, Prototype of an industrialized construction system, Demountable House 6x9, Loblolly House.
Alumno:	Monsalve Bahamonde Ana Cristina	Student:	Monsalve Bahamonde Ana Cristina
C.I.	0105101968 Código: 86675	C.I.	0105101968 Código: 86675
Director:	Calderón Peñafiel Juan Carlos	Director:	Calderón Peñafiel Juan Carlos
Codirector:		Codirector:	
			Para uso del Departamento de Idiomas >>>
		Revisor:	
		N° cédula de identidad	0104842760



A R Q U I T E C T U R A

CRISTINA MONSALVE