

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN

CATÁLOGO

Catálogo de Soluciones Constructivas para la Industrialización

Primera versión web: Octubre 2023

Esta edición ha sido creada por el equipo del Centro UC de innovación en Madera. Todos los derechos reservados.

Esta publicación o cualquier parte de la misma no debe ser reproducida en ninguna forma sin el permiso escrito del Centro UC de innovación en Madera.

Autoría

Subdirección de Transferencia Centro UC de Innovación en Madera. Fabiana Lorca

Colaboradores

División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, DITEC. Susana Jara

Felipe Victorero

Javiera de la Barra

José Luis Caamaño

Edición

Fabiana Lorca

Diagramación

Fabiana Lorca

Sol Villanustre

Ilustración

Fabiana Lorca

Sol Villanustre

Javier Haberland

Los autores, colaboradores y editores no asumen ninguna responsabilidad por cualquier daño directo o indirecto, lesión, perjuicio o pérdida que pueda producirse o sufrirse como resultado del uso, la confianza, la aplicación y/o la referencia a la información incluida en esta publicación. Consulte a su jurisdicción local o a un profesional del diseño para asegurarse de que cumplen las disposiciones legales y ordenanzas locales de construcción.

Información de contacto:

Centro UC de Innovación en Madera

Edificio Centro de Innovación Anacleto Angelini, piso 7

Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile

Teléfono: +56 2 2354 5549

contactocim@uc.cl

<https://madera.uc.cl>



Introducción	2
Glosario	5
Consideraciones	7
Paneles de muro	10
Muro perimetral 01	
Muro perimetral 02	
Muro perimetral ventana	
Muro perimetral puerta	
Muro interior	
Alternativas de módulos para paneles de muro	
Paneles de piso	16
Piso ventilado	
Entrepiso	
Paneles de techo	18
Techumbre	
Elementos complementarios	19
Vigas y cerchas	
Aplicación: Vivienda rural industrializada	20
Conclusión	22
Referencias gráficas	23
Bibliografía	24



Se presenta el Catálogo de soluciones constructivas para la industrialización, documento desarrollado de forma conjunta entre CIM UC - CENAMAD y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

El contexto nacional reúne diferentes empresas dedicadas a la prefabricación de soluciones constructivas en madera, cuyos productos pueden variar desde la entrega de paneles en obra gruesa hasta una vivienda lista para ser habitada. En función de las capacidades y alcances de cada empresa es necesario establecer una estrategia de trabajo colaborativo entre los participantes del proceso.

El objetivo de este documento es presentar un catálogo de soluciones constructivas tipo que pueden ser utilizadas en construcciones industrializadas de 1 o 2 pisos compuestas por paneles de entramado en madera. Por otro lado, busca orientar el diseño arquitectónico en base a criterios asociados a la incorporación de la industrialización.

El catálogo está compuesto por soluciones constructivas para paneles de piso ventilado, muros perimetrales, muros interiores, techumbre y entrepiso. Cada solución posee características determinadas por las capacidades productivas de empresas

panelizadoras en Chile y buscan potenciar los beneficios de la construcción industrializada.

La ejecución de proyectos de construcción industrializada consiste en diversas etapas, cuyos tiempos de desarrollo difieren en relación a la construcción tradicional. Como se muestra en el esquema, se compone por:

1| Diseño: Definición de aspectos formales y constructivos del proyecto. En función de los objetivos, considera criterios de optimización basados en: dimensiones de materiales, maquinaria y tecnología asociada a la fabricación, medios de transporte y estrategia de montaje. Durante esta etapa, además, se genera la planificación de la logística asociada a etapas posteriores.

2| Prefabricación: Etapa desarrollada dentro de la planta de fabricación. Comprende el suministro de materiales, dimensionamiento, fabricación de paneles, su embalaje y montaje dentro del camión.

3| Transporte: Traslado de paneles a la obra.

4| Montaje: Incorporación y ajuste de los elementos prefabricados de una obra.

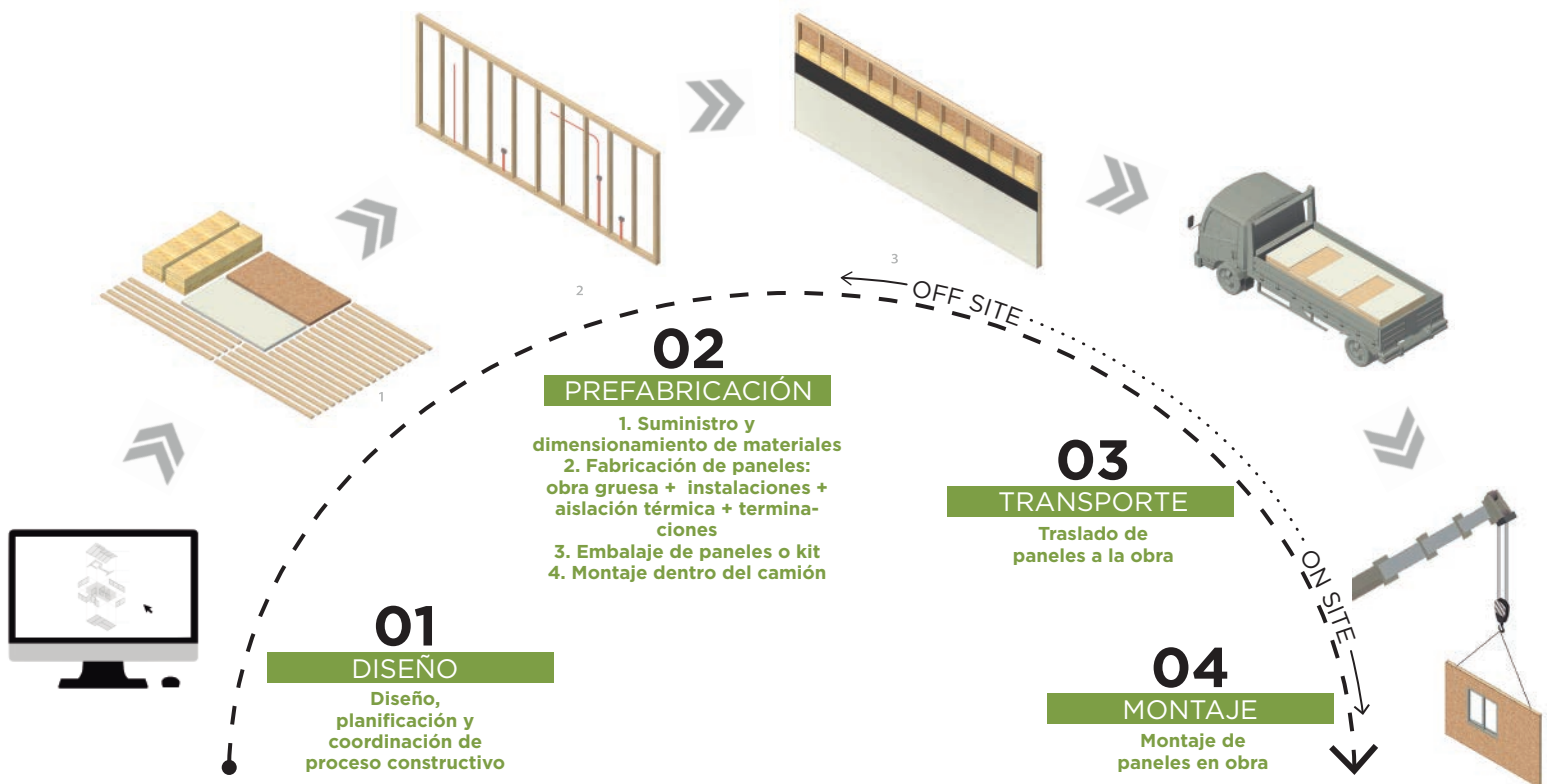


Figura 1. Esquema etapas proceso constructivo industrializado

Cada empresa prefabricadora tiene estrategias particulares de trabajo, sin embargo, existen elementos en común. A continuación, se presentan soluciones que contienen un diseño optimizado en base a:

- **Dimensiones generales:** Las dimensiones máximas se establecen en función de la tecnología utilizada para fabricar paneles. Las mesas de trabajo más utilizadas poseen un área de uso de 3.0 x 12.0m, lo que permite el avance en dos paneles de 6.0m de forma simultánea, optimizando el uso de la mesa.

Por otro lado, la normativa actual establece que las dimensiones máximas para la circulación de un vehículo en Chile son: 2.60m de ancho exterior, 4.20m de alto sobre el nivel del suelo y 11m de largo total¹. En casos donde las dimensiones superen las permitidas, será necesario solicitar escolta policial². Por este motivo, el largo de los paneles debe ser dimensionado en función del medio de transporte a utilizar.

- **Dimensiones de materiales:** Se utilizan para modular la altura de paneles de muro y el distanciamiento de pies derechos para permitir la fijación de las placas.

- **Escuadrías:** Las soluciones presentan escuadrías utilizadas actualmente por panelizadores para cada solución.

- **Distanciamientos:** Se establecen de acuerdo a los requerimientos estructurales y patrones de fijación de placas a la estructura.

Cada uno de los aspectos descritos inciden en la definición de aspectos formales y constructivos de los paneles presentados, con el objetivo de facilitar la prefabricación, la logística y finalmente la ejecución del proyecto.

La industrialización de un proceso constructivo debe considerar una aproximación y estrategias que difieren de la construcción tradicional y conviene considerarlas desde el comienzo. En este sentido, sus características convergen en el concepto DfMA (Design for manufactory and assembly), que hace referencia a la consideración de factores asociados a la prefabricación dentro del proceso de diseño, definido por RIBA (2013) como un enfoque que facilita una mayor construcción fuera de sitio, y de esta manera minimizar la construcción en sitio, lo que reduce problemas asociados a la construcción

tradicional y genera mejoras en el resultado³.

Por otro lado, el uso de BIM beneficiaría el proceso constructivo, facilitando el flujo de información certera y actualizada entre participantes del proceso, aumentar la productividad, eficiencia, calidad y sustentabilidad, reduce costos en el ciclo de vida, tiempos de entrega, minimiza la generación de residuos⁴ debido a que las diversas etapas dependen de la planificación de etapas tempranas⁵. El uso de BIM permitiría visualizar y monitorear el progreso de trabajo entre las actividades fuera de sitio y aquellas desarrolladas en el sitio⁶.

Actualmente no existe consenso general en cuanto a términos vinculados con la construcción industrializada, sin embargo, los conceptos empleados en el presente documento se vinculan con la mesa de trabajo desarrollada para la actualización de la norma chilena NCh 3744 de construcción industrializada y prefabricada.

Cada ficha está vinculada con las soluciones de la plataforma **Diseña Madera**, donde se encuentra la ficha técnica e informes de desempeño de cada solución: resistencia al fuego y transmitancia térmica, indicando las zonas térmicas donde es posible aplicarlas.

Se presentan formatos alternativos de menores dimensiones para paneles de muro, considerando las características de los materiales, distanciamiento optimizado de pies derechos o vigas, dimensiones y capacidades de la maquinaria de industrialización y criterios para su uso optimizado.

El uso de dimensiones estándar permitirá reducir tiempo y residuos asociados a la construcción. Por este motivo, es recomendable proyectar el menor número posible de paneles con dimensiones únicas fuera del formato predominante.

Cabe mencionar que la construcción industrializada está directamente relacionada con el desarrollo tecnológico y puede depender en particular de tecnologías emergentes, debido a su naturaleza⁷. Por este motivo, sus características están en constante transformación, ya sea con la integración de nuevas tecnologías de manufactura avanzada, metodologías y sistemas de coordinación entre participantes del proceso (proveedores, empresa prefabricadora, equipos de diseño, ingeniería y especialidades, equipo de transporte, montajistas y el cliente).



Figuras 2, 3 y 4. Planta de fabricación Nueva San José

Dentro de las empresas de prefabricación chilenas, es posible encontrar diferentes categorías en relación al uso de tecnología en procesos de prefabricación:

- **Categoría 1:** Comprende el uso de maquinaria de ejecución manual y mesas de carpintería para uso artesanal.
- **Categoría 2:** Comprende procesos mecanizados como maquinaria neumática. Puede considerar procesos manuales.
- **Categoría 3:** Comprende la automatización de algunas etapas mediante el uso de softwares y maquinaria robótica, como puente multifuncional, girador de mariposa, entre otras. Puede considerar maquinaria neumática y procesos manuales.
- **Categoría 4:** Comprende la optimización y automatización de procesos por medio del uso de la robótica e inteligencia artificial.

Actualmente en Chile es posible encontrar empresas prefabricadoras de paneles y módulos en madera que alcanzan hasta el nivel 3, con procesos mecanizados y maquinaria de control numérico operada por trabajadores calificados.

Por otro lado, junto con el nivel de prefabricación, pueden existir variaciones en relación a los elementos que componen el kit entregado por cada empresa.

¹ Ministerio de transportes y telecomunicaciones y Subsecretaría de transportes, Norma Establece Dimensiones Máximas a Vehículos que Indica.

² Carabineros de Chile, Circular 1801.

³ Abanda, Tah, y Cheung, «BIM in Off-Site Manufacturing for Buildings».

⁴ RIBA, «RIBA Plan of Work 2013: Designing for Manufacture and Assembly».

⁵ Ciribini, Mastrolembro Ventura, y Paneroni, «Implementation of an Interoperable Process to Optimise Design and Construction Phases of a Residential Building».

⁶ Abanda, Tah, y Cheung, «BIM in Off-Site Manufacturing for Buildings».

⁷ Salama, Salah, y Moselhi, «Integration of Offsite and Onsite Schedules in Modular Construction».



Figura 5. Puente multifunción E2E
 Figura 6. Planta Tecno Fast
 Figura 7. Módulo en fábrica Patagual Home

1| Conceptos generales

- **Elemento:** Parte de una construcción que puede ser estructural o no y estar compuesto por más de un material.
- **Panel abierto:** Panel que posee una o ambas caras sin revestir.
- **Panel cerrado:** Panel cuyas caras están revestidas. En algunos casos se requerirá la apertura de una sección del panel para la conexión de instalaciones.
- **Panel industrializado:** Elemento estructural o no estructural como muros, pisos, entresijos o techumbre, elaborado en una planta de fabricación. Puede incluir instalaciones y terminaciones.
- **Módulo:** Elemento volumétrico construido en una planta de fabricación, que considera estructura y en algunos casos instalaciones y/o terminaciones. Puede estar compuesto por piso, muros y cubierta. Corresponde a una parte de la obra y requiere un proceso de montaje en el sitio. Puede corresponder al total de la planta o a una sección de la obra completa, dependiendo del tipo de proyecto.

2| Procesos

- **Prefabricación:** Manufactura industrializada de elementos constructivos dentro de una planta de fabricación. Considera un diseño optimizado.
- **Nivel de prefabricación de panel:** Clasificación relacionada con el nivel de acabado de un panel elaborado en fábrica. Se distinguen 3 niveles:

Panel en obra gruesa: El panel está compuesto por elementos estructurales. Puede estar conformado por:

- Pies derechos + soleras
- Pies derechos + soleras + placa arriostrante.

Panel semi terminado: El panel se compone por la estructura, instalaciones y elementos del interior del entramado, como aislación térmica y membranas de vapor y humedad.

Panel terminado: El panel está compuesto por su estructura, elementos del entramado y revestimientos. Puede considerar ventanas y puertas.

• **Industrialización:** Estrategia que implica el uso de elementos prefabricados y la optimización de procesos. Posee un enfoque sistémico del proceso constructivo que integra todas las etapas, desde planificación y diseño hasta la ejecución en el sitio y coordinación entre todos los participantes durante el proceso. Requiere el uso de maquinaria y tecnología que permita integrar diseño y producción.

• **Nivel de industrialización:** Clasificación del nivel de desarrollo y complejidad alcanzada en las diversas etapas del proceso constructivo. Un nivel óptimo de industrialización requiere la integración y coordinación de todos los procesos y participantes, a través del desarrollo continuo de procesos y tecnología. Jerker Lessing define nueve áreas de desarrollo: planificación y control de procesos, sistemas técnicos desarrollados y estandarización, prefabricación de elementos constructivos, relaciones a largo plazo entre participantes, manejo de la cadena de suministro integrado en el proceso constructivo, foco en el cliente, uso de tecnologías de información y comunicación, medición sistemática de desempeño y reutilización de experiencias y mejora continua de procesos y sistemas⁸. Cada una de estas áreas va a colaborar en la formación de un proceso industrializado.



Figura 8. Niveles de prefabricación de un panel



Figura 9. Esquema fases constructivas proceso industrializado

3| Conceptos fases constructivas

- **Planta de fabricación:** Espacio de trabajo especializado en la prefabricación de elementos constructivos de forma industrializada. Puede contener maquinaria robótica, neumática y/o procesos manuales.

- **Transporte:** Etapa en la cual se trasladan los elementos fabricados en una planta hacia el sitio de emplazamiento del proyecto. Considera el previo embalaje, protección y orden de los elementos para su montaje dentro del camión o medio de transporte a utilizar, junto con la correcta disposición para su izaje y montaje en el sitio. Además de paneles, el transporte puede considerar la incorporación de elementos complementarios como puertas, ventanas, artefactos sanitarios y eléctricos, elementos de conexión, materiales de terminación, sellos, entre otros.

- **Montaje:** Proceso que consiste en la incorporación y ajuste de los elementos prefabricados que componen una obra, realizado de acuerdo a un manual que comprende la secuencia de montaje y los diferentes tipos de conexiones entre elementos. Contiene cuatro partidas clave:

- 1. Izaje:** Manipulación de paneles con el uso de grúa. Se debe considerar los tamaños y pesos máximos de los elementos, para definir la grúa a utilizar. La planificación debe considerar el espacio disponible para situar los paneles en el terreno y el desplazamiento de la grúa. Dependiendo del peso y el tipo de elemento, se debe definir el tipo de anclaje para la elevación de elementos con grúa y los puntos donde se fijarán para distribuir las cargas de manera uniforme.

- 2. Presentación:** Posicionamiento del panel en su ubicación definitiva dentro del proyecto. Dependiendo del peso del elemento, puede realizarse con grúa o de forma manual. Requiere la verificación del panel a utilizar, su correcta orientación y la revisión de instalaciones que deban conectarse. Previamente deben ubicarse los sellos que aseguren la hermeticidad entre paneles. El uso de solera de montaje facilitará el proceso.

- 3. Conexión:** Fijación de un panel con otro panel o elemento de la obra. Su ejecución se realiza de acuerdo a las indicaciones del manual de montaje. Se debe asegurar la estabilidad del primer panel para continuar con el montaje.

- 4. Sellos:** Instalación o aplicación de elementos o materiales que incrementan la hermeticidad de la vivienda. Se recomienda considerar sellos para los siguientes encuentros: entre paneles, entre panel y ventana, entre panel y puerta, para espacios residuales en el atravesado de paneles por ductos de ventilación y/o calefacción, entre solera de montaje y solera inferior, entre placas de revestimiento, entre elementos de diferente materialidad, en encuentros de artefactos eléctricos con un panel y en todos los encuentros que interrumpan el sistema constructivo.

- **Almacenamiento:** Dentro de la obra, los elementos deben ser guardados cuidadosamente para su protección de factores climáticos. Debe procurarse la mantención del embalaje realizado en fábrica, con el fin de cuidar los materiales de terminación o ductos de instalaciones que componen el elemento.

⁸ Lessing, Industrialised House-Building.

Planificación y coordinación

Para orientar la toma de decisiones, un primer factor a considerar son los objetivos de industrializar el proceso constructivo e incluir la prefabricación, con el fin de adoptar medidas tempranas y tomar decisiones que potencien los resultados perseguidos, dentro de los cuales se destacan: rapidez en la construcción, aumento en la productividad⁹, mayor certidumbre respecto a costos¹⁰, control en la calidad de los elementos de construcción, disminución en la estacionalidad de la construcción¹¹, control de procesos para su mejora, reducción de residuos¹², menor impacto al medio ambiente¹³, disminución del riesgo de accidentes¹⁴, entre otros.

La construcción industrializada requiere la adopción de estrategias de forma temprana y el uso de elementos prefabricados es un factor relevante a considerar por parte de los equipos de diseño¹⁵. Por este motivo, toma valor la planificación y coordinación de cada uno de los participantes del proyecto, a través de softwares y metodologías que permitan un rápido y efectivo flujo de información entre el equipo de diseño, especialistas, empresa prefabricadora y encargados del transporte y montaje de los elementos de construcción.

El uso de metodología BIM facilita la coordinación y trabajo entre integrantes del proceso, y de esta manera, permite anticipar etapas críticas y soluciones. Considera la modelación y definición de conexiones y soluciones durante la etapa de diseño, minimizando las definiciones en obra y permitiendo la mejora continua de procesos. La modelación del proyecto debe entregar información referente a dimensiones, características de los materiales, soluciones constructivas y a su posterior montaje.

La construcción industrializada se compone por diversas fases, que configuran las diferentes alternativas metodológicas y el nivel de industrialización de un proyecto, sin embargo, siempre debe considerarse la optimización, mecanización y/o automatización de procesos¹⁶. Por este motivo, el desarrollo tecnológico está directamente relacionado con el progreso en la construcción industrializada.

Diseño

Las dimensiones mínimas de un panel pueden variar entre empresas panelizadoras, por lo que es recomendable coordinar el diseño de paneles de

menores dimensiones a las expuestas en este catálogo con cada empresa encargada de la fabricación de los paneles. En algunos casos el ancho mínimo es de 50 centímetros, mientras que en otros no existen mínimos.

Si se evalúa utilizar paneles con mayores dimensiones a las expuestas en este catálogo, es necesario considerar las capacidades productivas específicas de cada empresa panelizadora, dado que la tecnología asociada a procesos de construcción industrializada es variable en cada empresa y algunas presentan más flexibilidad. Junto con esto, la logística asociada al transporte y montaje y la superficie disponible en el sitio de emplazamiento de la obra son factores que determinarán las ventajas y desventajas de utilizar formatos de mayores dimensiones.

El largo de los paneles debe considerar la optimización del uso de la mesa, por lo tanto, en el caso de usar una mesa de 12m, los paneles a trabajar en simultáneo deben sumar sus largos hasta llegar a esa dimensión o menos.

Además de las dimensiones generales, las escuadrías y los materiales utilizados podrían variar de acuerdo a las características y necesidades del proyecto y debe verificarse la disponibilidad y factibilidad de los cambios con cada empresa encargada de la construcción de paneles, que posee una biblioteca de materiales y escuadrías de trabajo específicas. De esta manera se podrá verificar la factibilidad del diseño o considerar alternativas a implementar. En algunos casos, los paneles podrían ser fabricados con escuadrías diferentes a las expuestas en este catálogo.

La conexión de paneles corresponde a un ítem relevante dentro del proceso constructivo y requiere consideración en cuanto a tiempo de ejecución y costos. En este sentido, resulta conveniente maximizar las dimensiones de los paneles con el objetivo de disminuir la cantidad de uniones a ejecutar y facilitar el proceso de montaje con grúa.

Por motivos constructivos y estructurales, se recomienda el uso de doble solera inferior y superior, como se expone en el catálogo. Cada solución de paneles de muro considera la incorporación de solera de montaje y solera de amarre, que en ambos casos deben ser instaladas en obra. El uso de solera



inferior (de montaje) permitirá facilitar el proceso de montaje y anticipar la ubicación de cada panel, mientras que la solera de amarre reforzará los encuentros entre paneles.

El uso de cadenetas debe ser evaluado por el equipo de diseño junto a cada empresa panelizadora, debido a que, en algunos casos su uso puede ser incompatible con los sistemas de prefabricación de algunas empresas.

El diseño de proyectos de especialidades debe realizarse en esta etapa, de manera coordinada entre todos los participantes para evitar cruces de ductos y facilitar el proceso constructivo en fábrica y en el sitio.

Dependiendo de la disponibilidad de espesores de aislante térmico, se puede considerar el uso de más de una capa de aislante lana de vidrio para conformar el espesor proyectado. En este caso, para evitar puentes térmicos se sugiere traslapar los encuentros, como se indica en el esquema.

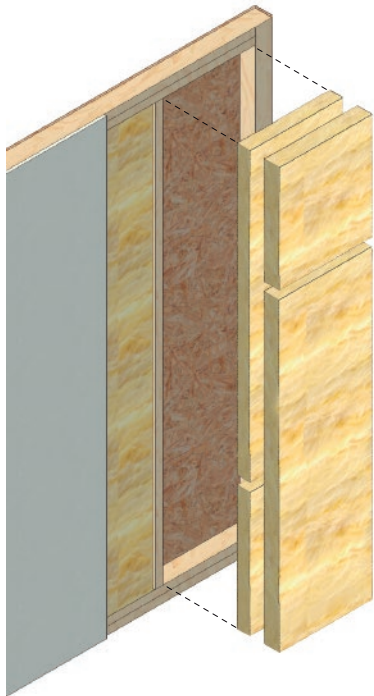


Figura 10. Traslape de aislante térmico dentro de un panel

Transporte

Como se mencionó anteriormente, la normativa establece las dimensiones máximas que puede al-

canzar un vehículo sin necesitar escolta policial: 2,60m de ancho con o sin carga, 4,20m de altura desde el piso y 11m de largo total, por lo que el diseño de paneles debe considerar estas dimensiones.

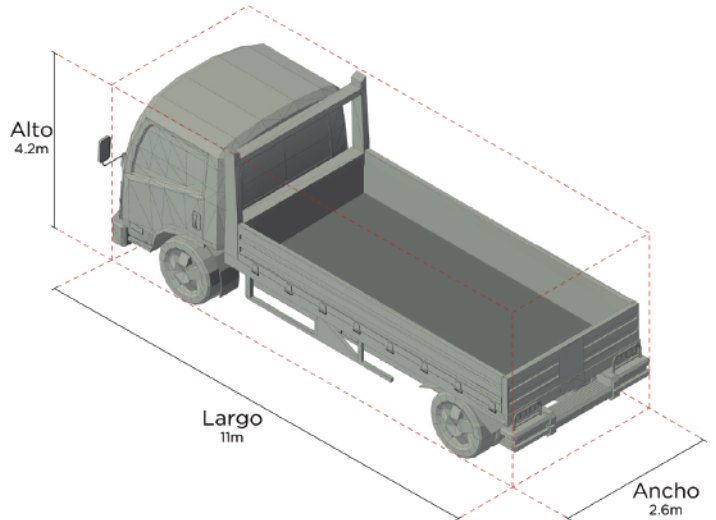


Figura 11. Dimensiones máximas definidas para el desplazamiento de vehículos

Por otro lado, la planificación debe considerar la ruta, anchos y pesos máximos permitidos, altura de la carga, estado de las calles y los horarios de desplazamiento.

Resulta relevante conocer el estado de la ruta de transporte, debido a que los revestimientos y elementos delicados de los paneles podrían resultar afectados durante un desplazamiento en rutas en mal estado o caminos rurales. Por estos motivos, se recomienda el uso de elementos de protección en esquinas y bordes de paneles, para proteger los materiales de terminación de posibles daños resultantes del proceso de transporte, además de protección frente a la lluvia y viento.

En cuanto al proceso de izaje de paneles, debe considerarse la forma en que serán trasladados dentro del camión (horizontal o verticalmente) y el espacio disponible dentro del terreno para maniobrar la grúa y disponer los paneles. En el mercado existen diferentes alternativas de anclaje que facilitan el transporte de elementos de madera. El tipo de izaje debe permitir un transporte ordenado y con balance de cargas para no afectar la estructura o dificultar el montaje. Debido a los costos asociados al uso de grúa, debe existir planificación para optimizar su uso.

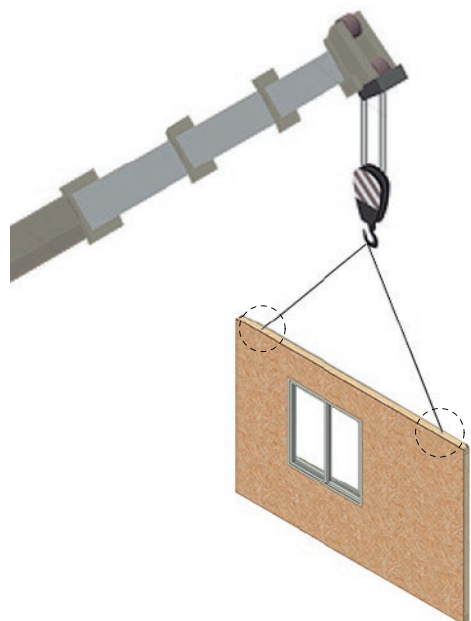


Figura 12. Puntos de izaje de un panel

Montaje

Para incrementar la rapidez del montaje, se sugiere incorporar la mayor cantidad de partidas dentro del trabajo en la planta de prefabricación. Esta estrategia permite mantener un mayor control en la calidad del resultado y agilizar los procesos de montaje en el sitio de emplazamiento.

Dentro de estas partidas, para recintos húmedos es posible considerar el uso de revestimientos que no impliquen partidas húmedas, sino adhesivos.

Por otro lado, debe considerarse las capacidades del transporte para incorporar revestimientos como yeso cartón en fábrica o en obra, debido a los inconvenientes que pueden surgir de rutas en mal estado.

Para incrementar el éxito y rapidez del montaje de una obra compuesta por paneles, es necesaria la elaboración de un manual de montaje que guíe el proceso. Este manual debe contemplar: la secuencia constructiva que incluya todas las partes que componen la obra, sistema de izaje y los métodos y elementos de conexión entre paneles. Es importante la planificación cronológica del montaje de cada elemento, puesto que de esta manera es posible optimizar procesos y anticipar etapas críticas.

En relación a especialidades, debido al diámetro de los ductos sanitarios, en algunos casos resulta conveniente el uso de shafts, con dimensiones sugeridas por el especialista. De esta manera, se evitan cruces entre especialidades y estructura, que podrían debilitar el comportamiento estructural de los elementos.

En el caso de paneles de muro que posean revestimiento por ambas caras, se requerirá una abertura en el revestimiento que permita conectar los ductos eléctricos, sanitarios o de otras especialidades, entre paneles, cuando se requiera este tipo de conexión.

Finalmente, la construcción con paneles podría generar brechas entre elementos mayores a las generadas con la construcción tradicional. Por este motivo, debe incorporarse el uso de cintas, sellos y adhesivos que permitan aumentar los niveles de hermeticidad y comportamiento térmico de la vivienda¹⁷. En elementos prefabricados, los elementos del entramado como membranas de humedad y vapor deben sobresalir y permitir el traslape en obra para evitar infiltraciones¹⁸.

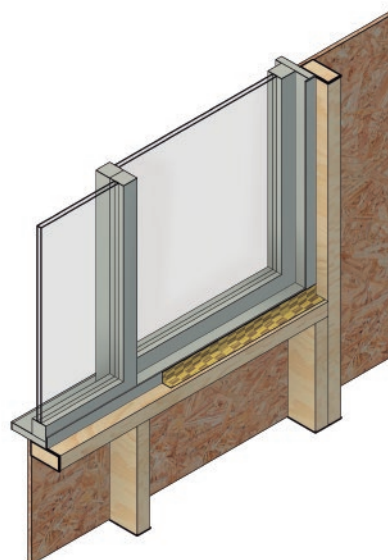


Figura 13. Sello en encuentro panel - ventana

⁹ McKinsey Global Institute, «Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity».

¹⁰ Wuni y Shen, «Holistic Review and Conceptual Framework for the Drivers of Offsite Construction».

¹¹ Abanda, Tah, y Cheung, «BIM in Off-Site Manufacturing for Buildings».

¹² Tam et al., «Towards Adoption of Prefabrication in Construction».

¹³ Cao et al., «A Comparative Study of Environmental Performance between Prefabricated and Traditional Residential Buildings in China».

¹⁴ Court et al., «Modular Assembly with Postponement to Improve Health, Safety, and Productivity in Construction».

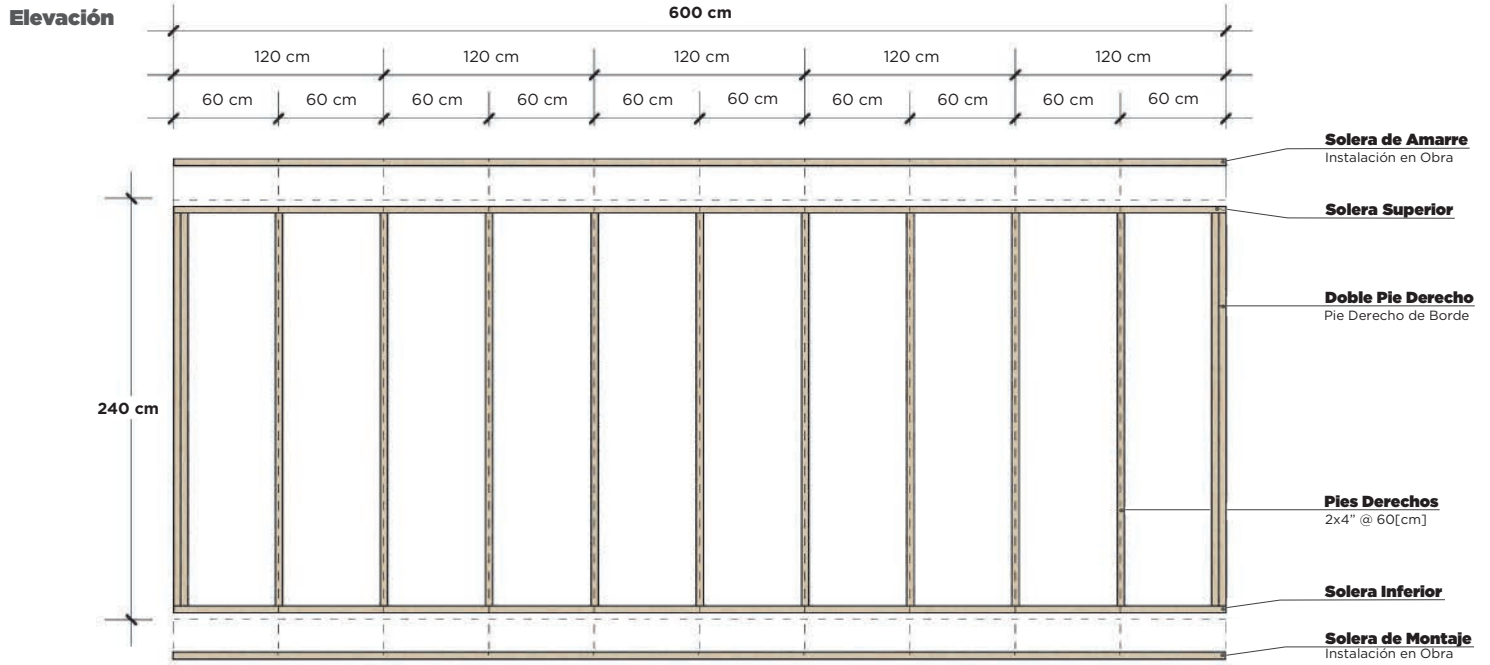
¹⁵ O'Connor, O'Brien, y Choi, «Critical Success Factors and Enablers for Optimum and Maximum Industrial Modularization».

¹⁶ Zilic, Elissetche, y Hernandez, «Oportunidades de manufactura avanzada para la industria de la construcción en madera».

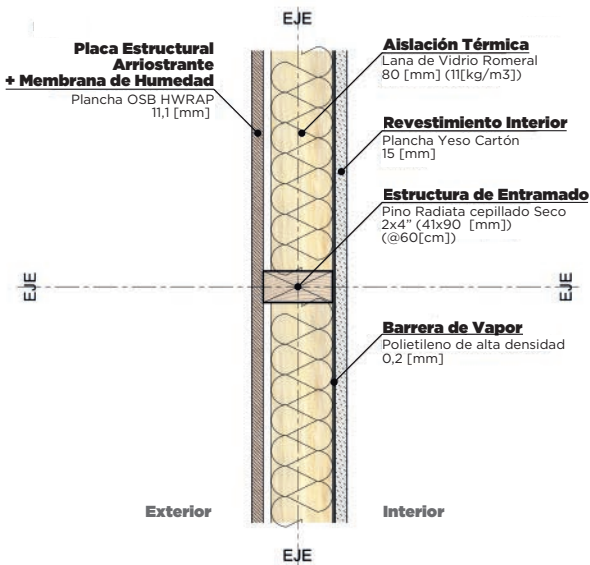
¹⁷ Zilic, Elissetche, y Hernandez, «Oportunidades de manufactura avanzada para la industria de la construcción en madera».

¹⁸ Citec UBB y DECON UC, «Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones».

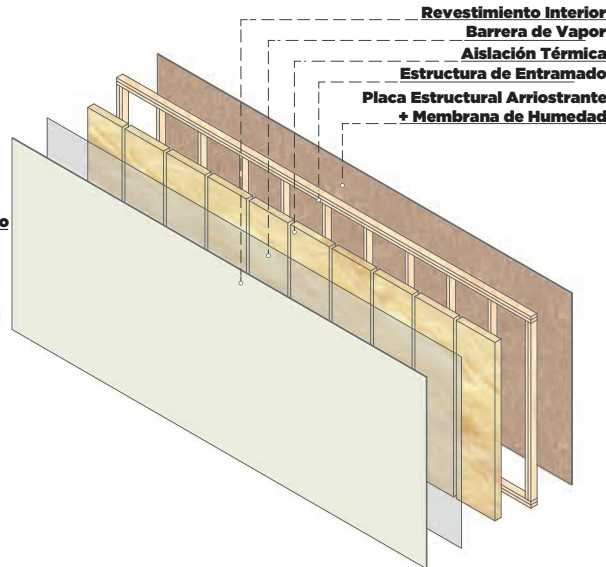
Muro Perimetral 01



Planta



Axonométrica



Fijaciones

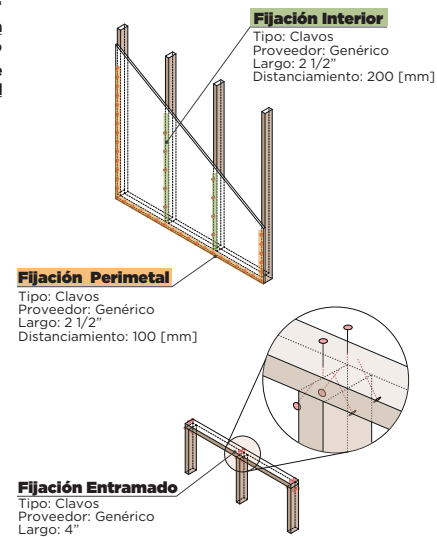


Tabla Especificaciones

Función	Material	Dimensión	Densidad
Revestimiento Interior	Placa Yeso Cartón ER Gyplac	15 mm	1036 kg/m3
Barrera de Vapor	Polietileno	0,2 mm	Alta
Estructura	Pino Radiata Cepillado Seco	2x4" (41x90 mm)	-
Aislación Térmica	Lana de Vidrio 11 kg/m3	80 mm	11 kg/m3
Placa Arriostante + Membrana de Humedad	Placa OSB HWRAP	11,1 mm	700 kg/m3
	Placa OSB + Membrana Hidrófuga Tyvek**		

* ST, RH o RF según corresponda
** Alternativa de Placa Arriostante

Consideraciones

1. Dependiendo de las cargas y la escala del proyecto, en algunos casos es posible prescindir de la solera de amarre.
2. Debe evaluarse el sistema de conexión de ductos de instalaciones, para determinar si es necesario proyectar una abertura en uno de los revestimientos, que permita realizar la conexión.
3. El uso de placas arriostantes que contienen membrana de humedad podrían agilizar el proceso de montaje.
4. Las especificaciones corresponden a soluciones de Diseño Madera.



Código Diseña Madera: MP0022-E

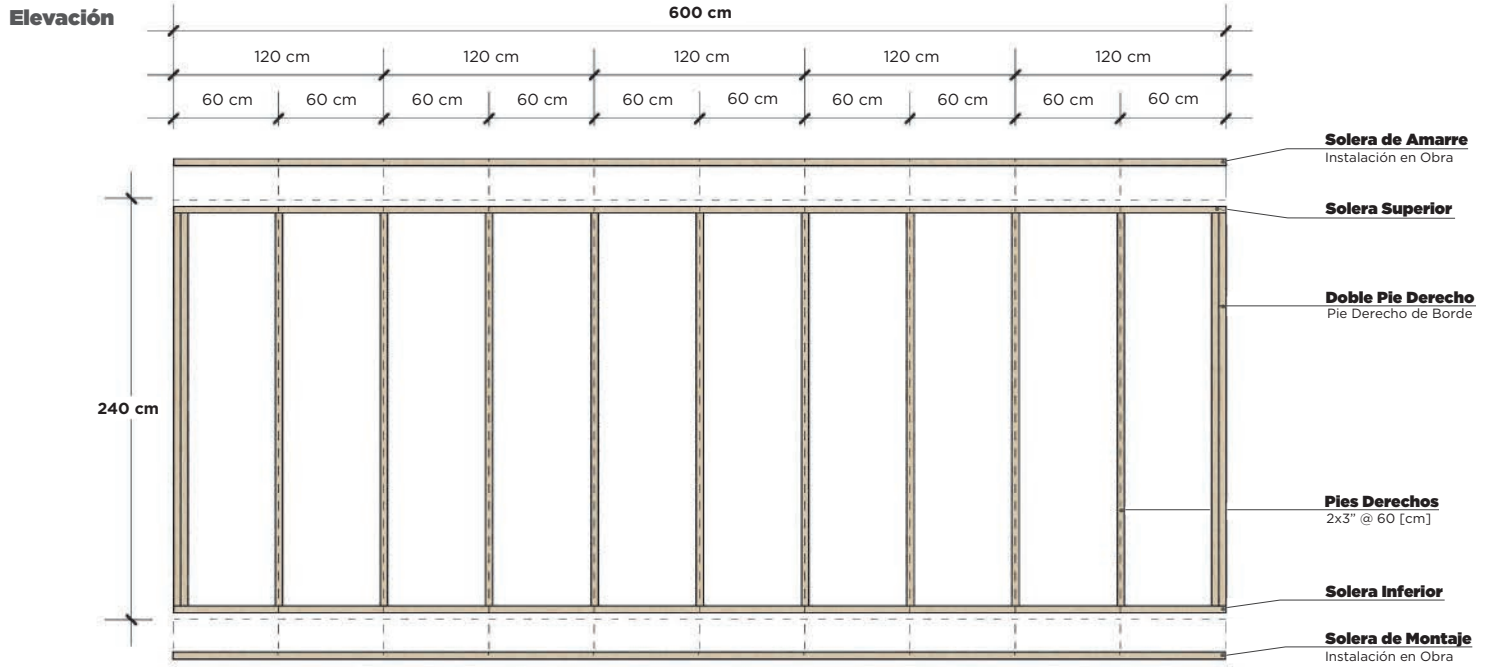


F30



0.46W/m2K

Muro Perimetral 02



Planta

Axonométrica

Fijaciones

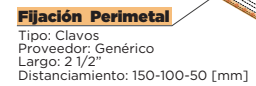
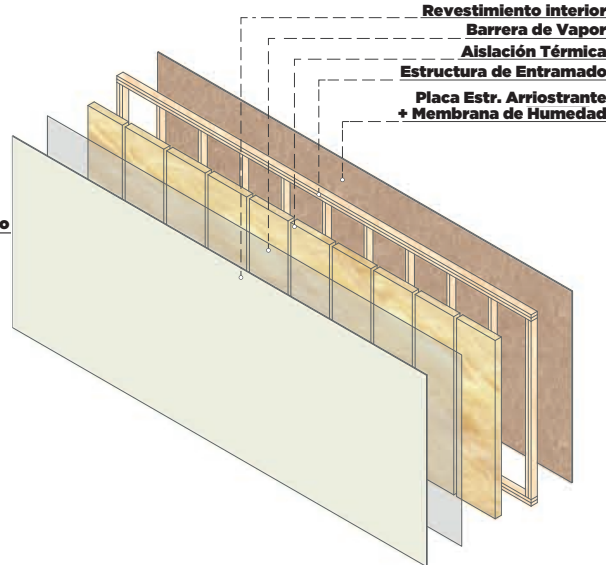
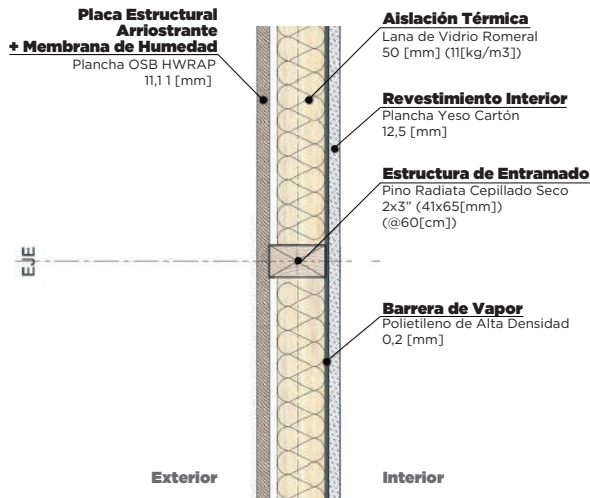


Tabla Especificaciones

Función	Material	Dimensión	Densidad
Revestimiento Interior	Placa Yeso Cartón RF Gyplac	12,5 mm	1036 kg/m ³
Barrera de Vapor	Polietileno	0,2 mm	Alta
Estructura	Pino Radiata Cepillado Seco	2x3" (41x65mm)	-
Aislación Térmica	Lana de Vidrio 11 kg/m ³	50 mm	11 kg/m ³
Placa Arriostante + Membrana de Humedad	Placa OSB HWRAP	11,1 mm	700 kg/m ³
	Placa OSB + Membrana Hidrófuga Tyvek**		

* ST, RH o RF según corresponda
** Alternativa de Placa Arriostante

Consideraciones

1. Dependiendo de las cargas y la escala del proyecto, en algunos casos es posible prescindir de la solera de amarre.
2. Debe evaluarse el sistema de conexión de ductos de instalaciones, para determinar si es necesario proyectar una abertura en uno de los revestimientos, que permita realizar la conexión.
3. El uso de placas arriostantes que contienen membrana de humedad podrían agilizar el proceso de montaje.
4. Las especificaciones corresponden a soluciones de Diseño Madera.



Código Diseña Madera: MP0033-F

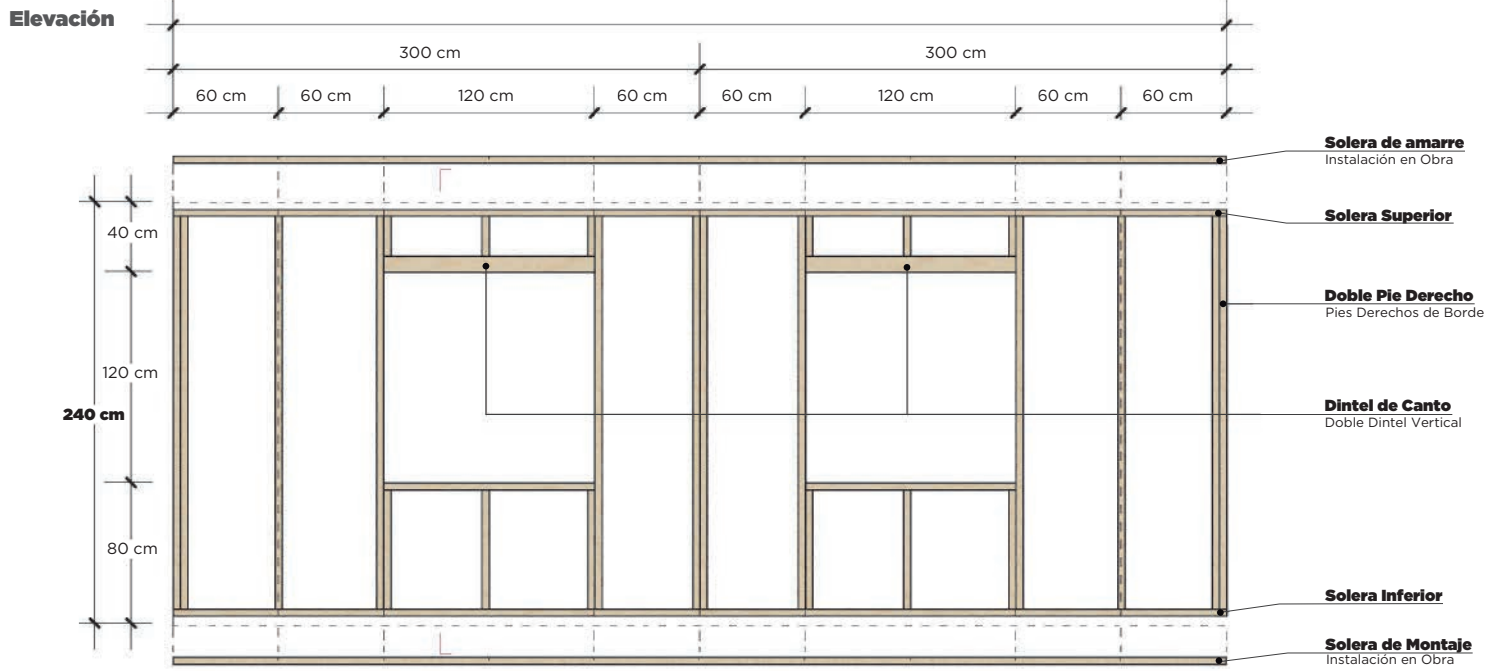


F30

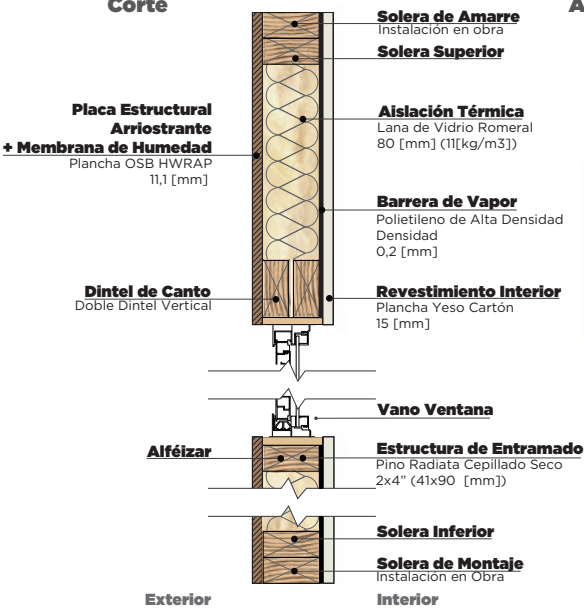


0.68W/m²K

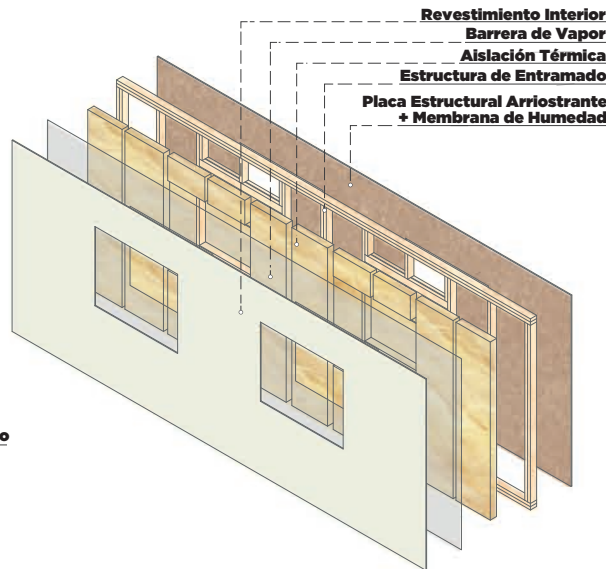
Muro Perimetral: Ventana



Corte



Axonométrica



Fijaciones

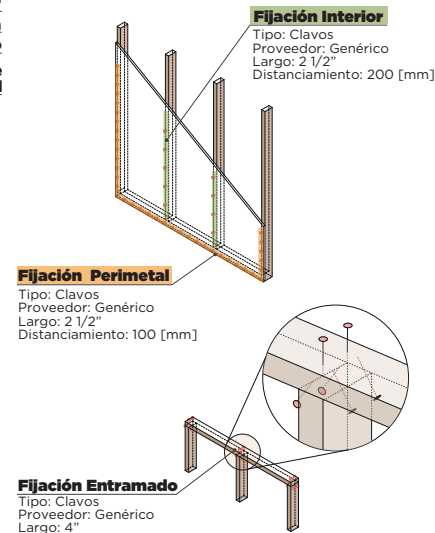


Tabla Especificaciones

Función	Material	Dimensión	Densidad
Revestimiento Interior	Placa Yeso Cartón ER Gyplac	15 mm	1036 kg/m ³
Barrera de Vapor	Polietileno	0,2mm	Alta
Estructura	Pino Radiata Cepillado Seco	2x7" (41x90 mm)	-
Aislación Térmica	Lana de Vidrio 11 kg/m ³	80 mm	11 kg/m ³
Placa Arriostrante + Membrana de Humedad	Placa OSB HWRAP	11,1 mm	700 kg/m ³
	Placa OSB + Membrana Hidrófuga Tyvek**		

* ST, RH o RF según corresponda
** Alternativa de Placa Arriostrante

Consideraciones

- La ubicación de los vanos es referencial y puede modificarse, dependiendo de las necesidades del proyecto.
- La incorporación de ventanas en fábrica debe evaluarse considerando las condiciones del camino y el cuidado y estabilidad de los paños de vidrio.
- La tolerancia de la estructura que compone el vano debe considerar el uso de sellos para evitar infiltraciones de aire y facilitar la instalación de ventanas en obra, si es el caso.
- Uso de doble dintel de canto: Permite estructurar el vano.
- Generar segmento libre sobre el vano: Facilita la canalización de ductos de especialidades.
- Las especificaciones corresponden a soluciones de Diseña Madera.



Código Diseña Madera: MP0022-E

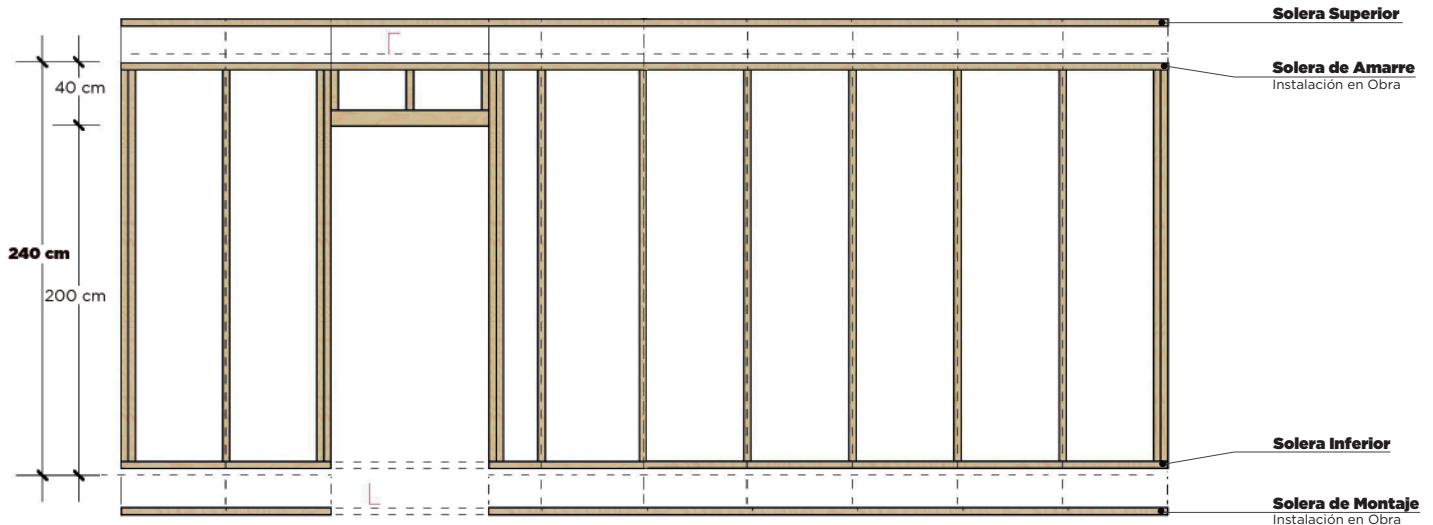
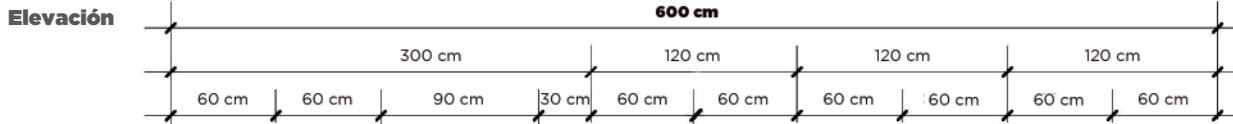


F30



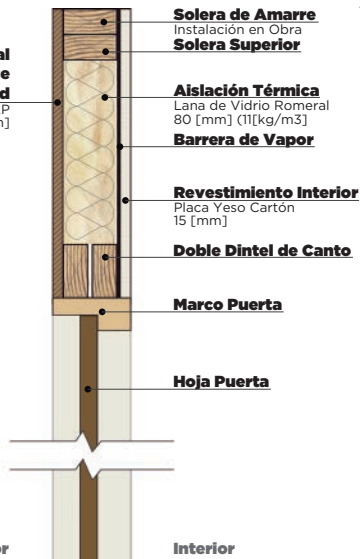
0.46W/m²K

Muro Perimetral: Puerta

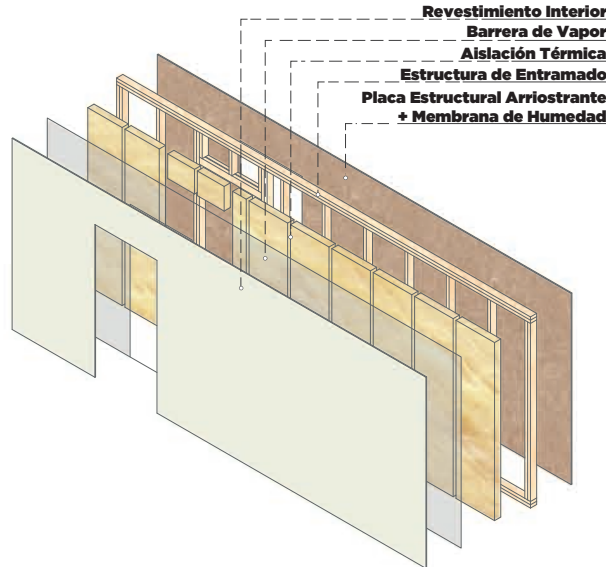


Corte

Placa Estructural Arriostrante + Membrana de Humedad
Plancha OSB HWRAP 11,1 [mm]



Axonométrica



Fijaciones

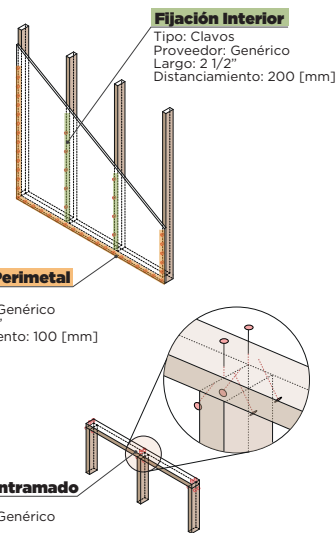


Tabla Especificaciones

Función	Material	Dimensión	Densidad
Revestimiento Interior	Placa Yeso Cartón ER Gyplac	15 mm	1036 kg/m ³
Barrera de Vapor	Polietileno	0,2 mm	Alta
Estructura	Pino Radiata Cepillado Seco	2x7" (41x90 mm)	-
Aislación Térmica	Lana de Vidrio 11 kg/m ³	80 mm	11 kg/m ³
Placa Arriostrante + Membrana de Humedad	Placa OSB HWRAP	11,1 mm	700 kg/m ³
	Placa OSB + Membrana Hidrófuga Tyvek**		

* ST, RH o RF según corresponda
** Alternativa de Placa Arriostrante

Consideraciones

- No cortar soleras inferiores en el segmento correspondiente al vano: Esta operación permitiría cuidar la estabilidad estructural del panel y proteger los elementos de terminación durante el transporte.
- Uso de doble dintel de canto: Permite estructurar el vano.
- Generar segmento libre sobre el vano: Facilita la canalización de ductos de especialidades.
- La ubicación del vano es referencial y puede variar en función de las necesidades del proyecto.
- Las especificaciones corresponden a soluciones de Diseña Madera.



Código Diseña Madera: MP0022-E

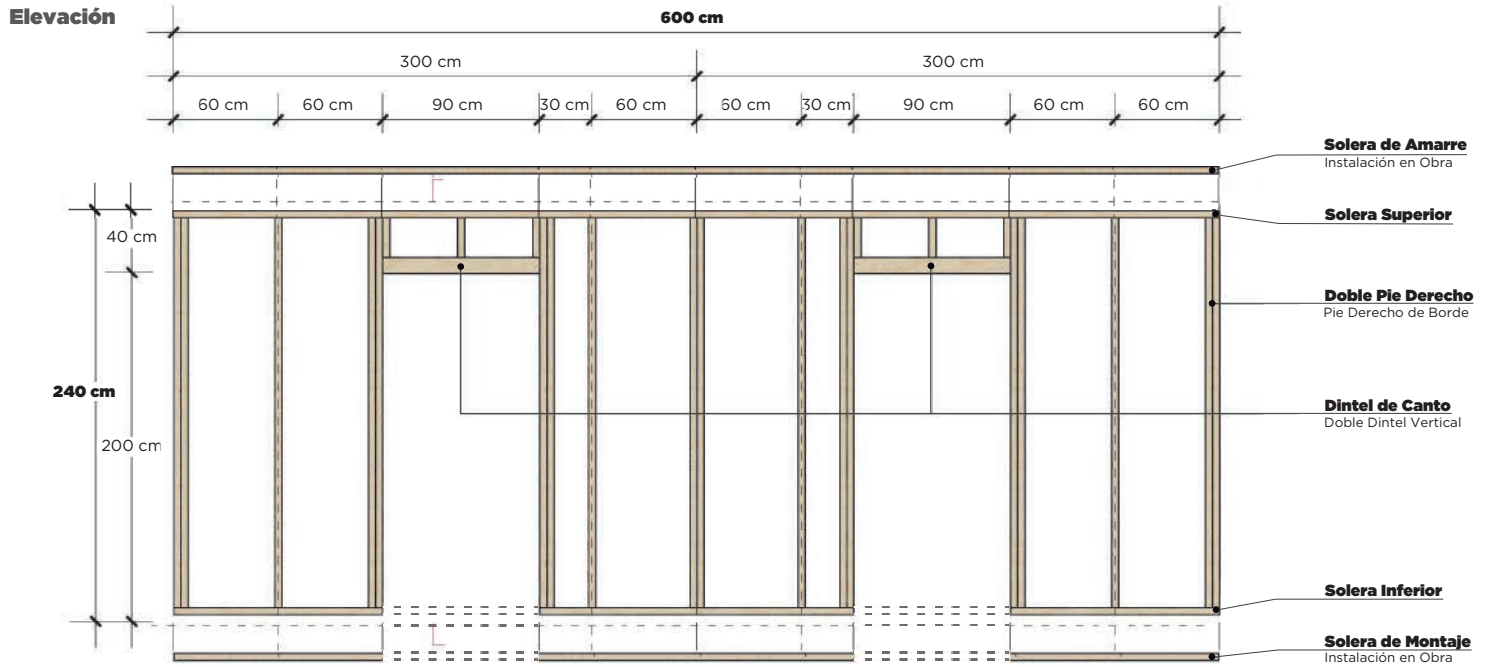


F30

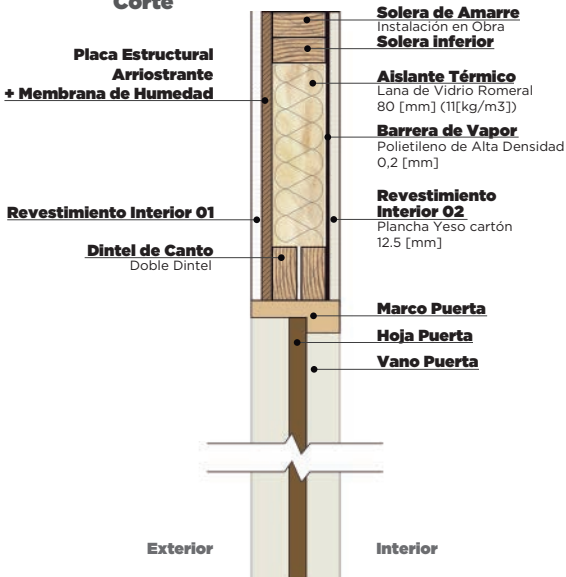


0.46W/m²K

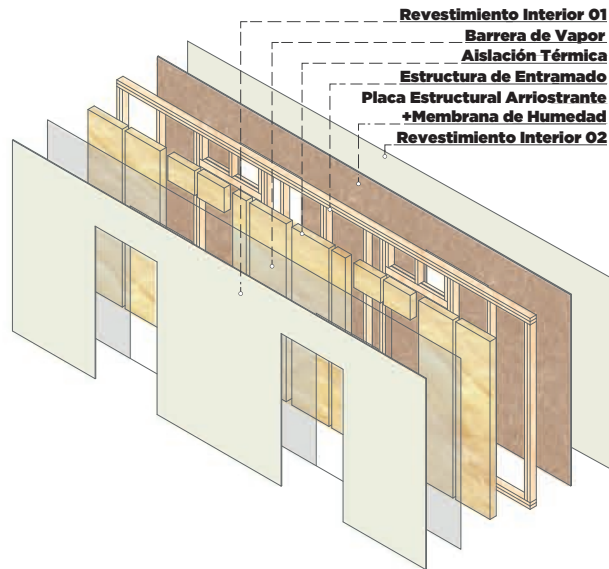
Muro Interior



Corte



Axonométrica



Fijaciones

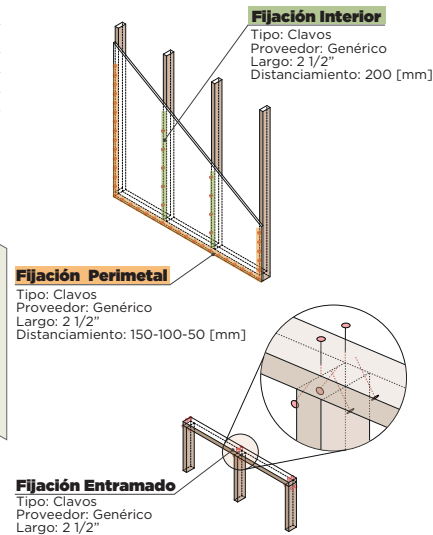


Tabla Especificaciones

Función	Material	Dimensión	Densidad
Revestimiento Interior O1	Placa Yeso Cartón*	12.5 mm	1036 kg/m ³
Barrera de Vapor	Polietileno	0,2mm	Alta
Estructura	Pino Radiata Cepillado Seco	2x4" (41x90 mm)	-
Aislación Térmica	Lana de Vidrio	80 mm	11 kg/m ³
Placa Arriostrante	Placa OSB Estructural APA	11,1 mm	700 kg/m ³
Revestimiento interior O2	Placa Yeso Cartón*	12.5 mm	1036 kg/m ³

* ST, RH o RF según corresponda

Consideraciones

- La ubicación de los vanos es referencial y puede modificarse o eliminarse, dependiendo de las necesidades del proyecto.
- Uso de doble dintel de canto: Permite estructurar el vano.
- Generar segmento libre sobre el vano: Facilita la canalización de ductos de especialidades.
- Para facilitar la estabilidad estructural durante el transporte, se sugiere mantener las soleras inferiores completas hasta su emplazamiento en el terreno.
- Las especificaciones corresponden a soluciones de Diseña Madera.



Código Diseña Madera: MI0003-F



F30



--

Alternativas de módulos para paneles de muro



Los paneles propuestos a continuación poseen dimensiones que consideran la optimización de materiales, sin embargo es relevante además tomar de referencia las dimensiones de la mesa de trabajo donde se fabrican los paneles.

La modulación del largo de los paneles debe considerar la optimización de la mesa de trabajo que posea la empresa prefabricadora, cuyo largo puede ser de 12m.

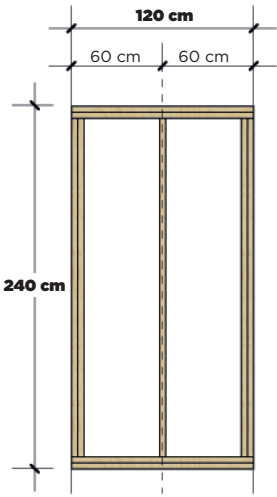
En el caso de usar una mesa de trabajo de 12 metros, la suma del largo de los paneles debe tener esa dimensión o ser menor, lo que permite su fabricación en simultáneo.

Con los paneles expuestos en esta sección, es posible optimizar el uso de la mesa trabajando en simultáneo en la manufactura de paneles de 120cm, 240cm, 360cm y 480cm, cuya suma es de 12 metros. Esta es una alternativa entre las diversas combinaciones que permitirían lograr este objetivo.

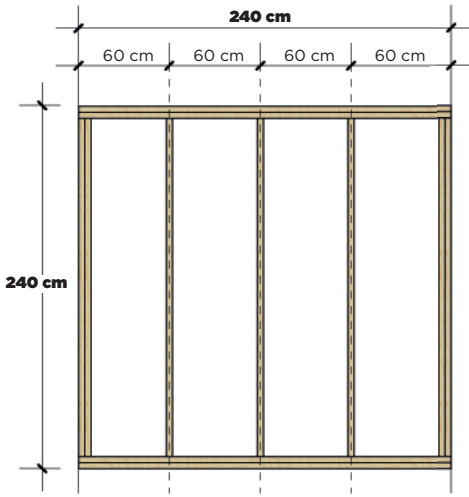
Finalmente la optimización en el uso de la mesa de trabajo se traducirá en una reducción en los tiempos de producción de los elementos que componen un proyecto.

Debido a las diferencias en cada empresa panelizadora, se recomienda conocer las condiciones de la fábrica que fabricará los paneles.

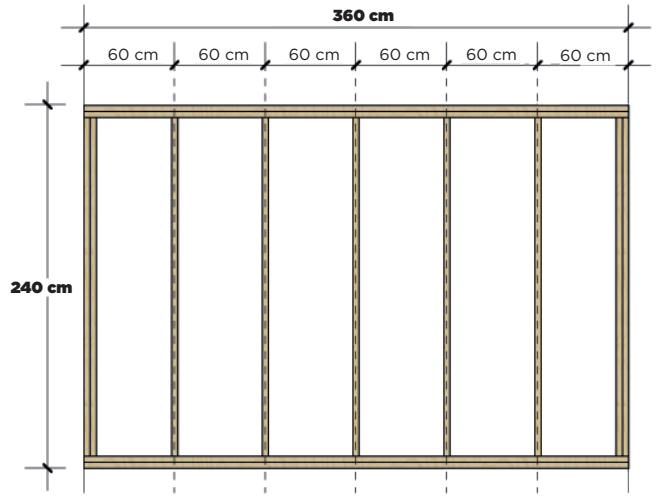
Muro 1: 120 cm



Muro 2: 240 cm



Muro 3: 360 cm



Muro 4: 480 cm

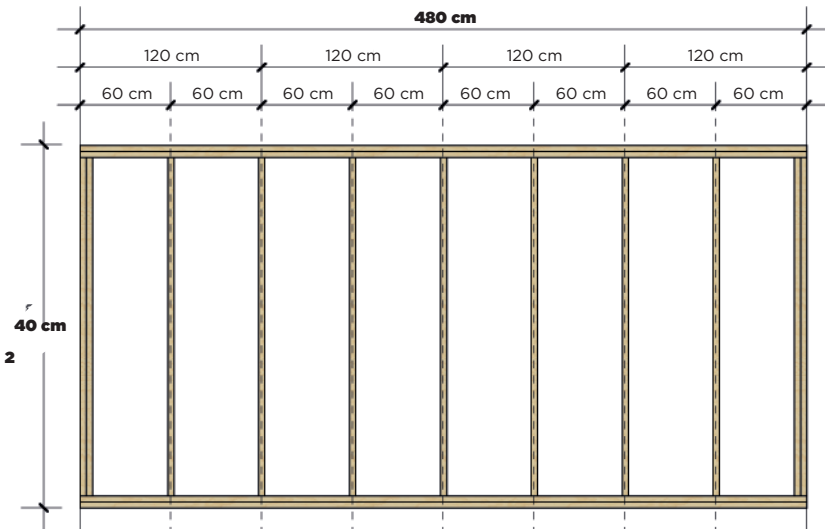


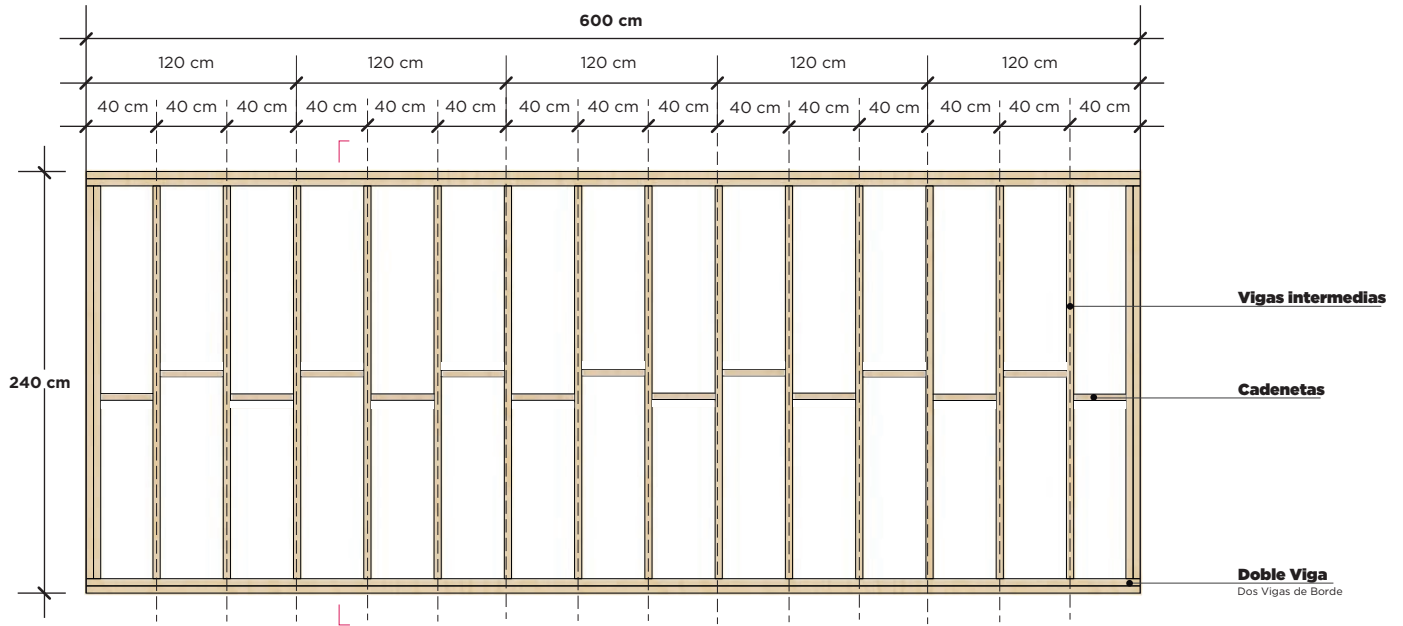
Figura 14. Formatos alternativos para paneles



Piso Ventilado



Planta



Corte

Axonométrica

Fijaciones

Interior

Exterior

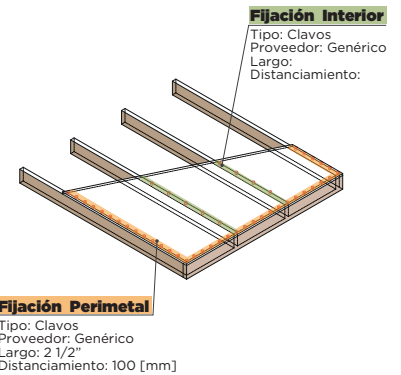
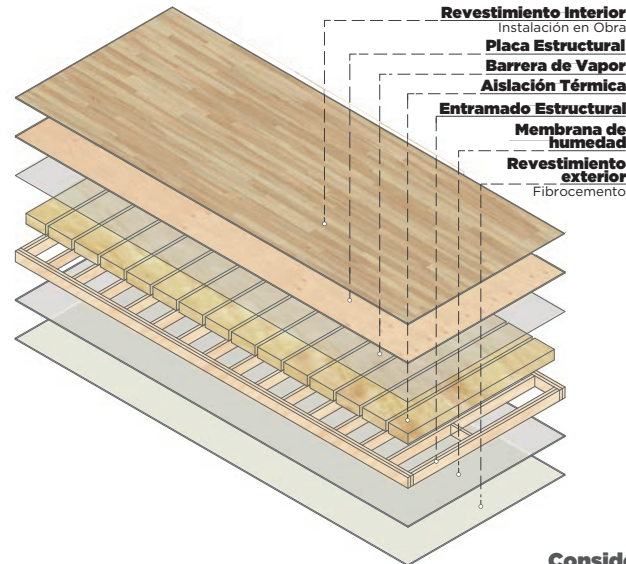
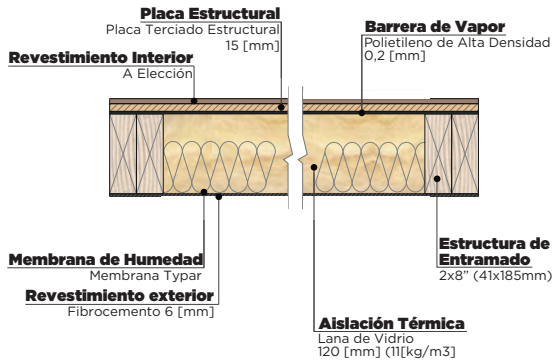


Tabla Especificaciones

Función	Material	Dimensión	Densidad
Revestimiento Interior	A Elección	-	-
Placa Estructural	Terciado Estructural	15 mm	535 kg/m ³
Barrera de Vapor	Polietileno	0,2 mm	Alta
Estructura	Pino Radiata Cepillado Seco	2x8" (41x185 mm) Cad.2x6" (41x140 mm)	-
Aislación Térmica	Lana de Vidrio	120 mm	11 kg/m ³
Membrana de humedad	Membrana Typar	Rollo	-
Revestimiento exterior	Fibrocemento	6mm	920 kg/m ³

Consideraciones

1. Dependiendo de la zona de emplazamiento del proyecto, es posible aumentar el espesor total de la lana de vidrio para aumentar el estándar térmico de la solución.
2. El uso de cadenetas debe ser evaluado junto a empresa panelizadora, debido a que algunos sistemas de optimización no las consideran.
3. Para la ejecución de proyectos residenciales debe realizarse una revisión de la normativa de resistencia al fuego y realizar las modificaciones respectivas para su cumplimiento.
4. Las especificaciones corresponden a soluciones de Diseña Madera.



Código Diseña Madera: PV0001-F

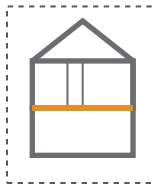


F15

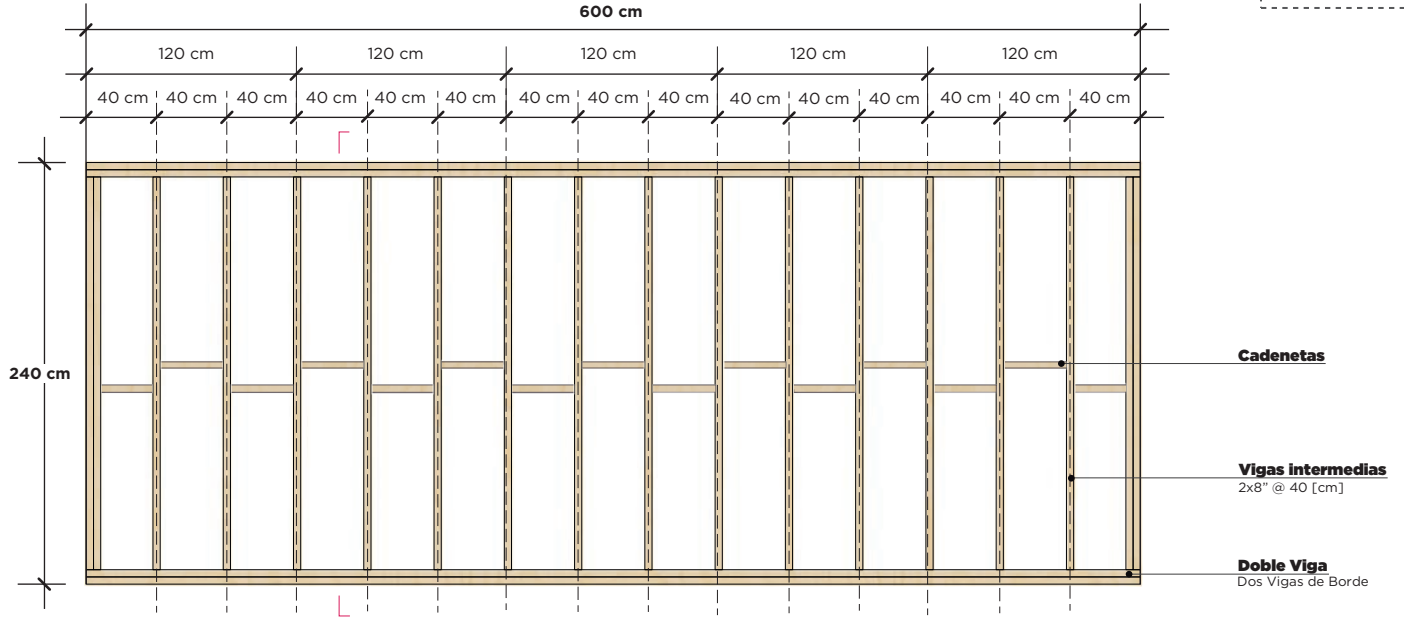


0.33 W/m²K

Panel de Entrepiso



Planta

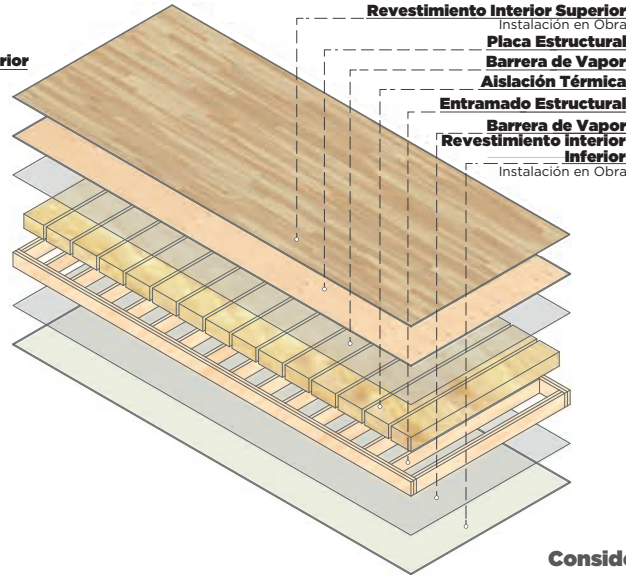
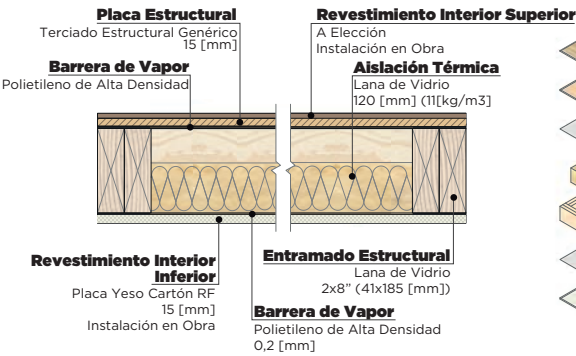


Corte

Axonométrica

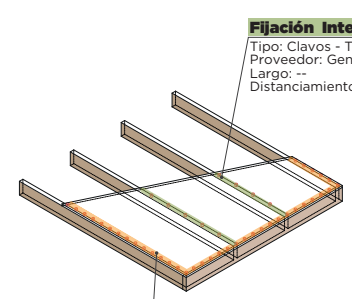
Fijaciones

Nivel 2



Fijación Interior

Tipo: Clavos - Tornillos
Proveedor: Genérico
Largo: --
Distanciamiento: --



Fijación Perimetral

Tipo: Clavos - Tornillos
Proveedor: Genérico
Largo: --
Distanciamiento: --

Tabla Especificaciones

Consideraciones

Función	Material	Dimensión	Densidad
Revestimiento Interior Superior	A Elección	-	-
Placa Estructural	Terciado Estructural Genérico	15 mm	--
Barrera de Vapor	Polietileno	0,2 mm	Alta
Aislación Térmica	Lana de Vidrio	120 mm	11 kg/m ³
Estructura	Pino Radiata Cepillado Seco	2x8" (41x185 mm)	-
Barrera de Vapor	Polietileno	Lámina	Alta
Revestimiento Interior Inferior	Placa Yeso Cartón RF	15 mm	700 kg/m ³

- Es posible aumentar el espesor total de la lana de vidrio para aumentar el estándar térmico de la solución.
- El uso de cadenas debe ser evaluado junto a empresa panelizadora, debido a que algunos sistemas de optimización no las consideran.
- Las especificaciones corresponden a soluciones de Diseña Madera.



Código Diseña Madera: EP0013-F



F30



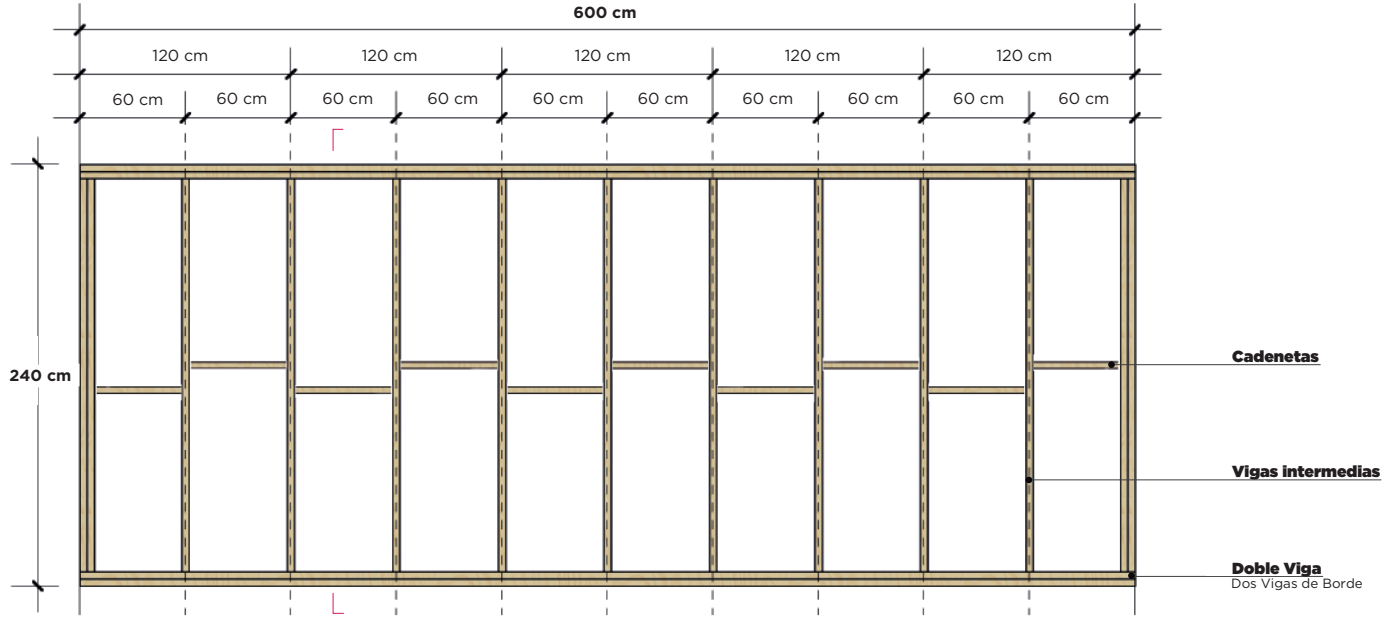
--



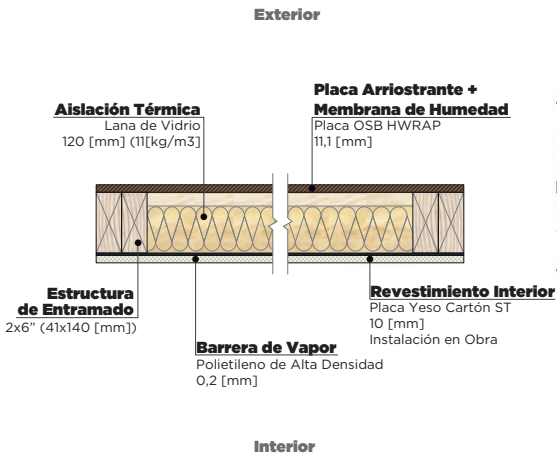
Panel de Techumbre



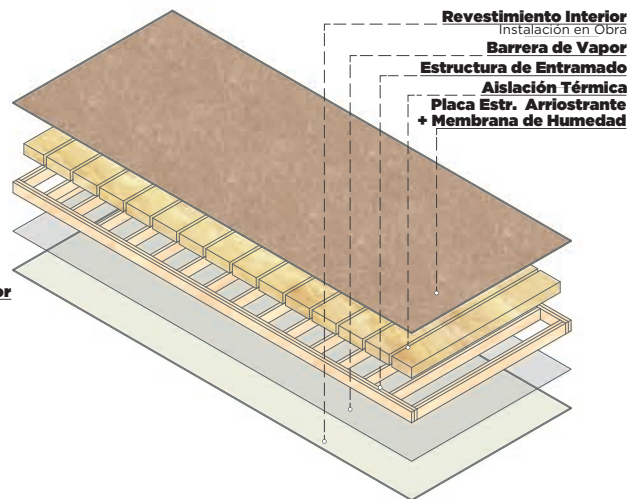
Planta



Corte



Axonométrica



Fijaciones

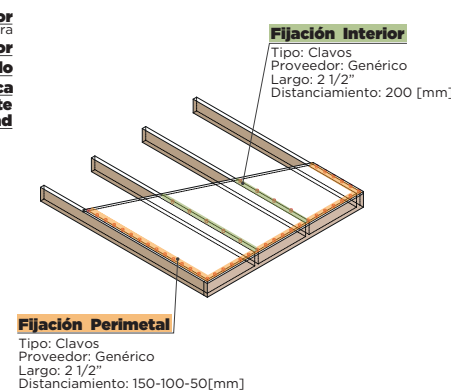


Tabla Especificaciones

Función	Material	Dimensión	Densidad
Revestimiento Interior	Placa Yeso Cartón ST	10 mm	660 kg/m ³
Barrera de Vapor	Polietileno	0,2 mm	Alta
Estructura	Pino Radiata Cepillado Seco	2x6" (41x140 mm)	-
Aislación Térmica	Lana de Vidrio	120 mm	11 kg/m ³
Placa Arriostrante + Membrana de Humedad	Placa OSB HWRAP	11,1 mm	700 kg/m ³
	Placa OSB + Membrana HidrófugaTyvek**		

* ST,RH o RF según corresponda
** Alternativa de Placa Arriostrante

Consideraciones

1. Dependiendo de la zona de emplazamiento del proyecto, es posible aumentar el espesor total de la lana de vidrio para aumentar el estándar térmico de la solución.
2. El uso de cadenetas debe ser evaluado junto a empresa panelizadora, debido a que algunos sistemas de optimización no las consideran.
3. Las especificaciones corresponden a soluciones de Diseña Madera.



Código Diseña Madera: TE0004-F



F15



0.33 W/m²K

Dependiendo del proyecto, para alcanzar mayores alturas o la estructuración de la techumbre, el proyecto considerará la incorporación de elementos como vigas y/o cerchas. El diseño de estos elementos debe realizarse en coordinación con la empresa panelizadora, para optimizar el proceso en función de las capacidades de manufactura de la empresa.

Dependiendo de estas capacidades, en algunos casos se podrá construir estos elementos en fábrica, sin embargo, es necesario considerar el nivel de terminación que requiere el proyecto y el que es posible alcanzar, para planificar el proceso constructivo y las partidas asociadas que deban ser desarrolladas en el sitio de emplazamiento. Si las cerchas no quedan expuestas, pueden requerir sólo estructura, sin embargo, su exposición podría demandar un mayor nivel de terminación.

El uso de cielo falso o entrepiso permite la oportunidad de canalizar ductos de especialidades sobre él, lo que genera mayor libertad al sistema en comparación con conexiones entre paneles de muro.

Por otro lado, durante la etapa de diseño debe existir claridad respecto a los detalles constructivos y el tipo de conexiones, para facilitar los encuentros y

evitar desajustes que deban corregirse en obra. La reducción de conexiones especiales o únicas agilizará el proceso de montaje, por lo que se sugiere su estandarización.

Las conexiones entre elementos que componen una viga o cercha pueden ser resueltas en la planta de fabricación, con el uso de diferentes soluciones, como placas Gusset (Figura 15), tornillos lanceros o placas dentadas (Figura 16).

La solución empleada dependerá de la empresa prefabricadora y el tipo de conexión.

En el mercado existen diferentes soluciones de fijación entre vigas y/o cerchas y entramados verticales, como pueden ser los conectores metálicos, los que deben considerar los requerimientos estructurales presentes en nudos y sectores vulnerables de la estructura de cubierta. Estos conectores permiten agilizar el proceso constructivo desarrollado en el sitio de emplazamiento.

El diseño de estos elementos debe procurar reducir al máximo las infiltraciones de aire y puentes térmicos en encuentros y dentro del entramado.

Viga

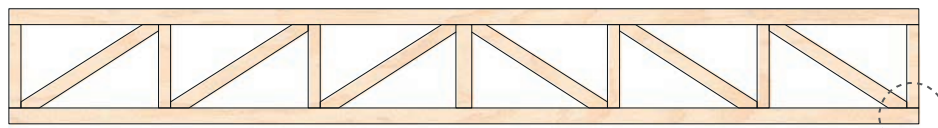


Figura 15. Viga reticulada

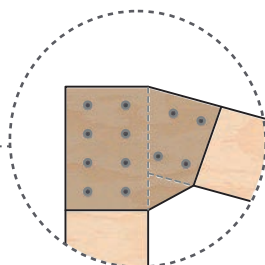


Figura 16. Placa Gusset

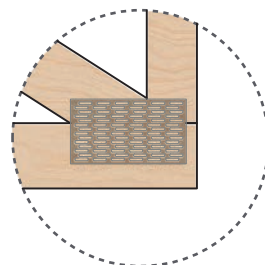


Figura 17. Placa dentada

Cercha

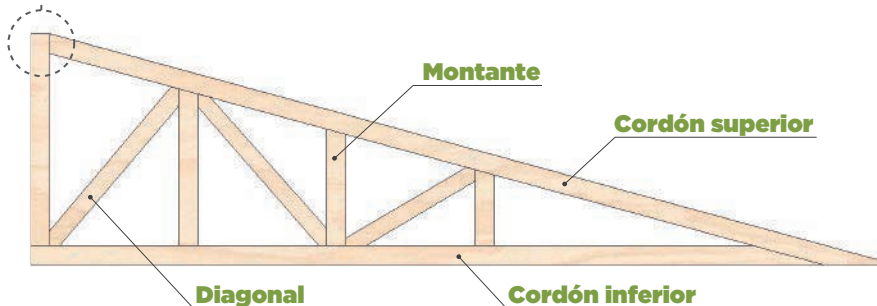
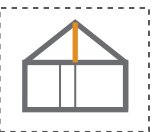


Figura 18. Composición de una cercha reticulada



Se presenta el proyecto “Vivienda rural industrializada”, desarrollado por el Centro de Innovación en Madera UC para el D.S. N°10. El proyecto exhibe el uso de soluciones constructivas contenidas en el presente catálogo, para piso ventilado, muros perimetrales, muros interiores y techumbre.

El diseño fue desarrollado para su producción de forma industrializada, considerando la prefabricación de paneles, los cuales poseen criterios de optimización expuestos en el presente documento.

La vivienda tiene una superficie de 55,4m² y se compone de 4 paneles de piso, 18 paneles de muro, 9 paneles de techo, 3 vigas y 3 cerchas. Cada uno de estos elementos consideran su prefabricación y posterior montaje en el sitio de emplazamiento.

El proyecto define como punto de partida el uso de 4 paneles de igual dimensión para la configuración del piso. A partir de este nivel, los muros tienen una altura de 2,40m y sobre ellos se disponen vigas y cerchas para soportar la cubierta.



Figura 19. Axonométrica norponiente vivienda



Figura 20. Despiece de paneles que componen la vivienda



Los paneles poseen dimensiones que permiten la optimización de la mesa de trabajo en la planta industrializadora y en su transporte hacia el sitio.

Se contempla la entrega de un kit de montaje que contiene todos los elementos que componen la vivienda: paneles, vigas y cerchas, puertas, ventanas, artefactos sanitarios, elementos de conexión, materiales de terminación y sellos para reducir las infiltraciones de aire desde el exterior.

El proyecto considera criterios de eficiencia energética en su diseño programático y constructivo. Desde la planta de fabricación cada uno de los paneles que compone la vivienda contiene aislación térmica en su entramado y barrera de vapor y de humedad bajo los revestimientos.

El montaje se realiza con paneles cerrados desde fábrica, por lo que se proyecta el uso de tornillos lanceros para las conexiones entre paneles.

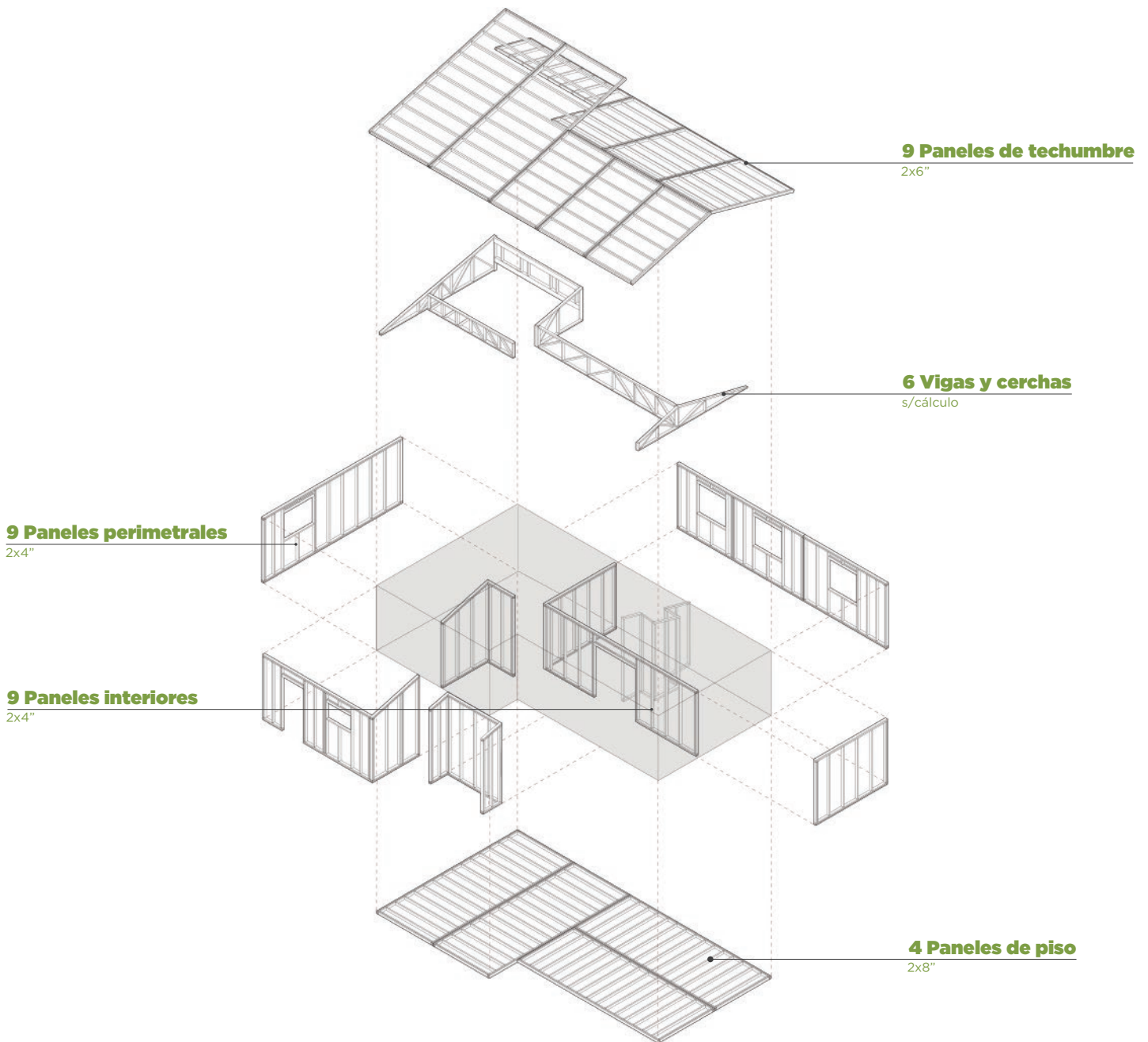


Figura 21. Axonométrica desplegada vivienda. Estructura de elementos prefabricados: paneles, vigas y cerchas.

Para el futuro se espera que la construcción industrializada en madera alcance mayores niveles de desarrollo y potencie los atributos del material, que resultan muy convenientes para esta forma de construir.

- El presente documento se entrega como base para un diseño que facilite la manufactura de sus componentes y optimice el uso de recursos, a través de una serie de criterios derivados de la industria prefabricadora de elementos constructivos en madera, donde se desprenden algunas conclusiones:

- La industrialización está directamente relacionada con la **tecnología** involucrada a lo largo del proceso y puede ser muy variable, por lo que es importante conocer y disponer de las herramientas existentes para desarrollar un proyecto industrializado que implique la prefabricación de elementos. Ya sea durante la etapa de diseño, con herramientas como realidad aumentada, impresión 3D, entre otras, en etapas de planificación, transporte y montaje o en el proceso de manufactura de elementos en la fábrica prefabricadora.

- La incorporación de **herramientas digitales de coordinación** es fundamental para el desarrollo de proyectos que apunten hacia la industrialización, ya que permiten la colaboración, integración y control de procesos y la toma de decisiones informada de todas las partes. Finalmente, el uso de esta información facilita el control y la **mejora continua** de procesos.

- La industria de manufactura de elementos constructivos tiene grandes desafíos y oportunidades con la incorporación de **robots de fabricación automatizada** y otras nuevas maquinarias y herramientas, que permitirían optimizar e incrementar la productividad en la construcción y la generación de nuevos productos y oportunidades para la industria. El uso de nuevas tecnologías en la fase de prefabricación debe ir de la mano con la optimización en la gestión en etapas iniciales y logística del proceso constructivo, para lograr una cadena productiva integrada y eficiente.

- Un atributo importante a integrar en procesos de construcción industrializada es la **estandarización** del sistema de producción, procesos y componentes. El uso de elementos constructivos estandarizados facilita el proceso y el control de los resultados, lo que permite mejorar el producto con

aprendizajes obtenidos de experiencias previas, a diferencia de la construcción tradicional, que genera productos únicos.

- Debe existir **versatilidad en el diseño**, que permita la expresión arquitectónica a través de la personalización del diseño, dentro de un marco de operaciones que contengan criterios de optimización.

- Es importante que los proyectos posean un **nivel de diseño altamente detallado**, que permita reducir inconvenientes y anticipar etapas críticas y sus soluciones. Es deseable que el proyecto considere la mayor cantidad de partidas que puedan ejecutarse en la planta de fabricación para mantener un registro y alternativas de optimización.

Finalmente, se recomienda mantener una **visión sistémica** del proceso constructivo, que permita ver interacciones entre cada una de las etapas y participantes y la mejora continua del proceso. Las decisiones de proyecto deben contemplar siempre la secuencia constructiva de diseño, prefabricación, transporte y montaje y los beneficios esperados de la industrialización.



Figura 1 Elaboración propia

Figura 2 Nueva San José (2022). Funcionario de Nueva San José. <https://nuevasanjose.cl/servicios/#Funcionario%20Nueva%20San%20Jos%C3%A9>

Figura 3 Nueva San José (2022). Nueva San José. <https://nuevasanjose.cl/nosotros/>

Figura 4 Nueva San José (2022). Funcionario de Nueva San José. <https://nuevasanjose.cl/servicios/#Funcionarios%20en%20planta%20de%20Panelizaci%C3%B3n>

Figura 5 E2E (2022). Puente multifunción en planta E2E. <https://www.e2echile.com/como-la-metodologia-y-la-planificacion-aumentan-la-productividad-en-la-construccion.html>

Figura 6 Tecno Fast (2022). Planta Tecno Fast. <https://tecnofast.cl/2019/10/23/fabrica-robotica-alimentada-con-energia-sustentable/>

Figura 7 Patagual Home (2022). Módulo Patagual Home. <https://patagualhome.cl/patagual-se-suma-a-cci/>

Figura 8 Elaboración propia

Figura 9 Elaboración propia

Figura 10 Elaboración propia

Figura 11 Elaboración propia

Figura 12 Elaboración propia

Figura 13 Elaboración propia

Figura 14 Elaboración propia

Figura 15 Elaboración propia

Figura 16 Elaboración propia

Figura 17 Elaboración propia

Figura 18 Elaboración propia

Figura 19 Elaboración propia

Figura 20 Elaboración propia

Figura 21 Elaboración propia



Abanda, F.H., J.H.M. Tah, y F.K.T. Cheung. «BIM in Off-Site Manufacturing for Buildings». *Journal of Building Engineering* 14 (noviembre de 2017): 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.10.002>.

Cao, Xinying, Xiaodong Li, Yimin Zhu, y Zhihui Zhang. «A Comparative Study of Environmental Performance between Prefabricated and Traditional Residential Buildings in China». *Journal of Cleaner Production, Special Issue: Toward a Regenerative Sustainability Paradigm for the Built Environment: from vision to reality*, 109 (16 de diciembre de 2015): 131-43. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120>.

Carabineros de Chile. Circular 1801 (2016). https://www.carabineros.cl/transparencia/Circulares/Circular_1801_21122016.pdf.

Ciribini, A.L.C., S. Mastrolembro Ventura, y M. Paneroni. «Implementation of an Interoperable Process to Optimise Design and Construction Phases of a Residential Building: A BIM Pilot Project». *Automation in Construction* 71 (noviembre de 2016): 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.005>.

Citec UBB y DECON UC. «Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones», 2014.

Court, Peter F., Christine L. Pasquire, G. F. Gibb, y David Bower. «Modular Assembly with Postponement to Improve Health, Safety, and Productivity in Construction». *Practice Periodical on Structural Design and Construction* 14, n.o 2 (mayo de 2009): 81-89. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2009\)14:2\(81\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2009)14:2(81)).

Lessing, Jerker. *Industrialised House-Building: Conceptual Orientation and Strategic Perspectives*. Lund: Division of Structural Engineering, Lund University, 2015.

«Construcción en madera», 2019.

McKinsey Global Institute. «Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity», 2017.

Ministerio de transportes y telecomunicaciones y Subsecretaría de transportes. Norma Establece Dimensiones Máximas a Vehículos que Indica, Pub. L. No. 18290 (1995). <https://www.bcn.cl/ley-chile/navegar?idNorma=31779>.

O'Connor, James T., William J. O'Brien, y Jin Ouk Choi. «Critical Success Factors and Enablers for Optimum and Maximum Industrial Modularization». *Journal of Construction Engineering and Management* 140, n.o 6 (junio de 2014): 04014012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000842](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000842).

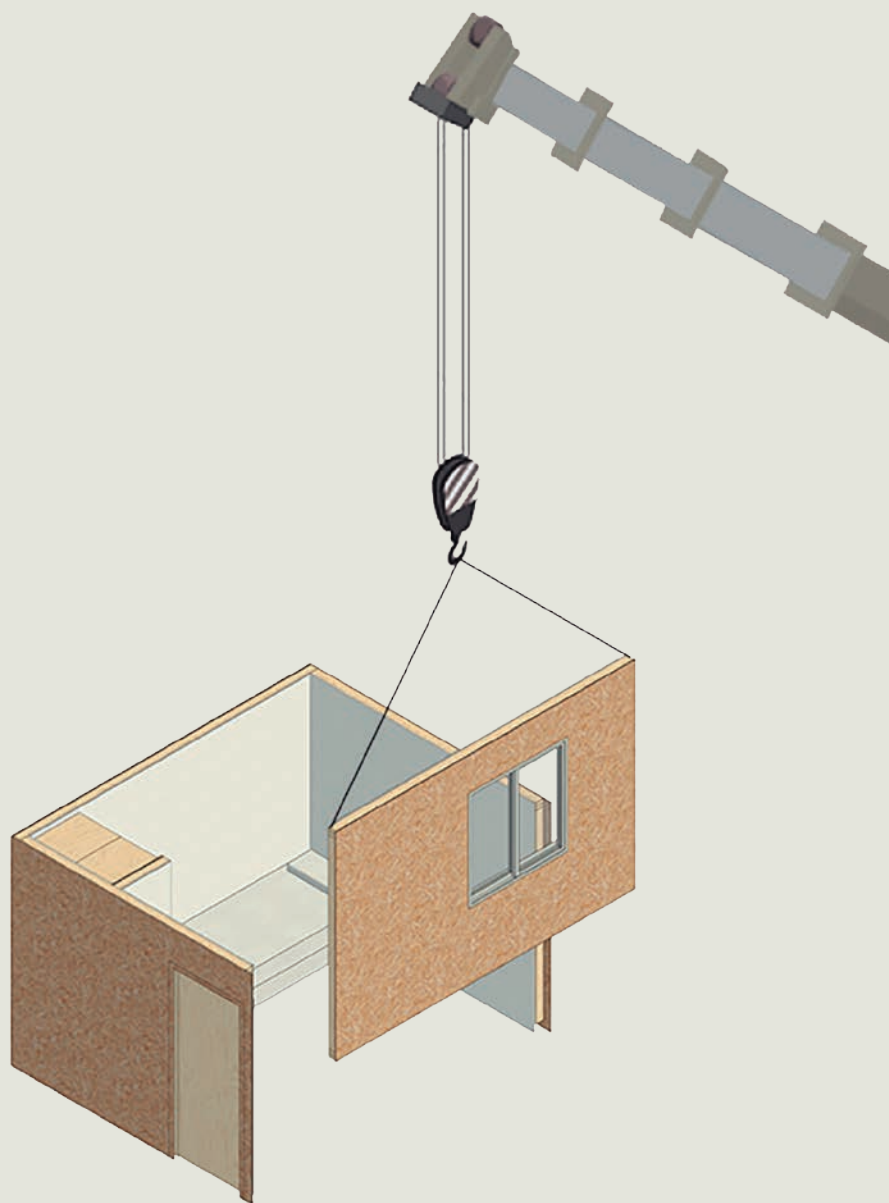
RIBA. «RIBA Plan of Work 2013: Designing for Manufacture and Assembly», 2013. <http://con-sig.org/wp-content/uploads/2018/10/RIBAPlanof-WorkDfMAOverlaypdf.pdf>.

Salama, Tarek, Ahmad Salah, y Osama Moselhi. «Integration of Offsite and Onsite Schedules in Modular Construction». Taipei, Taiwan, 2017. <https://doi.org/10.22260/ISARC2017/0107>.

Tam, Vivian W.Y., C.M. Tam, S.X. Zeng, y William C.Y. Ng. «Towards Adoption of Prefabrication in Construction». *Building and Environment* 42, n.o 10 (octubre de 2007): 3642-54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>.

Wuni, Ibrahim Y., y Geoffrey Q. P. Shen. «Holistic Review and Conceptual Framework for the Drivers of Offsite Construction: A Total Interpretive Structural Modelling Approach». *Buildings* 9, n.o 5 (8 de mayo de 2019): 117. <https://doi.org/10.3390/buildings9050117>.

Zilic, Frane, Juan Pedro Elissetche, y Vicente Hernandez. «Oportunidades de manufactura avanzada para la industria de la construcción en madera», 2019.



CATÁLOGO

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN