

Manual de transporte y montaje de paneles de madera contralaminada (CLT)

Manual de transporte y montaje de paneles de madera contralaminada (CLT)

Centro UC de Innovación en Madera (CIM UC), primera edición, abril de 2025.

Este manual ha sido creado gracias al convenio de colaboración y transferencia entre la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (DITEC) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU) y el Centro de Innovación en Madera (CIM UC), en el marco del Plan de Emergencia Habitacional.

Autoría	Colaboradores	Diagramación	Ilustración
Camila Juárez	Fabiana Lorca	Vanessa Naranjo	Vicente López
Cristóbal Reyes	Diego Maige		
Pablo Guindos	Enric Serra		

Contraparte técnica DITEC MINVU

Susana Jara
Oscar Loyola

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 se cumplen las disposiciones legales y ordenanzas locales de construcción.

CONTENIDO

Contenido	4
Capítulo 1 introducción	7
Capítulo 2 Glosario y símbolos	11
2.1 Glosario	11
2.2 Símbolos	13
Capítulo 3 Transporte	15
3.1 Consideraciones de traslado	17
3.1.1 Tipo y limitaciones de camión según carga de paneles	18
3.1.2 Distribución y protección de paneles en el camión	22
3.1.3 Medidas de protección climática durante el transporte	25
3.2 Consideraciones de entrega	27
3.2.1 Instrucciones de manipulación	28
3.2.2 Almacenamiento temporal en obra	29
Capítulo 4 Montaje	31
4.1 Sistemas de protección climática en obra	31
4.1.1 Elementos de protección directa	32
4.1.2 Estructuras de cubierta	33
4.2 Izaje	34
4.2.1 Sistemas de izaje	38
4.2.2 Ciclos de elevación	47
4.2.3 Cálculo de la fuerza resultante	48
4.3 Ensamblaje	55
Anexo	59
Referencias	65



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente manual, tiene como objetivo proporcionar una guía técnica integral para el transporte y montaje de paneles de madera contralaminada (CLT), entregando a los profesionales involucrados una base sólida de conocimientos y buenas prácticas para garantizar la seguridad, eficiencia y calidad en las etapas de transporte y montaje. Se abordan aspectos claves, tanto técnicos como logísticos, así como estrategias para el transporte seguro y eficiente de paneles, recomendaciones para su entrega, manipulación y almacenamiento temporal en obra y procedimientos de montaje. Es importante señalar que el documento se centra exclusivamente en paneles de CLT, excluyendo consideraciones para módulos tridimensionales de CLT.

En proyectos constructivos que utilizan paneles de CLT, las etapas de transporte y montaje son fundamentales para garantizar la integridad de los materiales y la eficiencia de la obra. Debido al tamaño y peso de los paneles, así como a su fa-

bricación off-site y montaje in-site, estas etapas requieren una planificación detallada que asegure un manejo adecuado y minimice el riesgo de daños y costos adicionales debidos al uso ineficiente de los recursos. El transporte no solo implica proteger los paneles contra golpes, rayaduras y factores climáticos, sino que también coordinar la logística necesaria para cumplir con las restricciones de ruta y los límites legales de dimensiones y peso. Por su parte, el montaje exige la correcta selección y uso de los sistemas de izaje y ensamblaje que garanticen no solo la seguridad de los procedimientos, sino también la estabilidad estructural y la calidad final requerida en las construcciones con paneles de CLT. El éxito de estas etapas no solo determina la eficiencia del proceso constructivo, sino que también influye directamente en la seguridad, calidad y durabilidad de las estructuras resultantes.

Un aspecto clave en la planificación de proyectos con paneles de CLT es la participación temprana y la coordinación efectiva entre los diferentes equipos involucrados. Establecer un flujo de información claro desde las fases iniciales permite alinear expectativas y responsabilidades, optimizar recursos y reducir la probabilidad de errores y retrasos. Documentos como planos detallados, manuales de montaje con sus especificaciones y cronogramas de transporte, son esenciales para estandarizar los procedimientos y facilitar la toma de decisiones en cada etapa. Además, la integración temprana de todos los participantes asegura que las soluciones adoptadas consideren las condiciones reales del terreno, las capacidades del equipo y las restricciones logísticas, promoviendo una ejecución fluida y segura.

El marco conceptual que organiza este manual aborda de manera integral las preguntas clave relacionadas con el transporte y montaje de paneles de CLT: ¿Qué se transporta?, ¿Cómo es el trayecto?, ¿Hacia dónde se transporta?, y ¿Cómo influyen las condiciones climáticas? Estas interrogantes guían la planificación y ejecución de estrategias necesarias de implementar para desarrollar procesos eficientes e integrados que velen por la seguridad tanto de los materiales como de los trabajadores. En la Figura 1.1 se presenta el esquema de este marco conceptual con sus etapas fundamentales e interacciones.

El análisis del transporte de paneles se desarrolla a partir de cuatro ejes principales: las características de los paneles, la ruta del trayecto, las condiciones del terreno y las variables climáticas. Dentro de las características de los paneles es fundamental la identificación de sus dimensiones, peso y secuencia- lidad de montaje, aunque pueden complementarse con otras variables como por ejemplo el nivel de terminación o clasificación visual. Con respecto a las características de la ruta es fundamental evaluar restricciones de altura, ancho, radio de giro, pendientes y horarios permitidos, además del estado del camino y posibles obstáculos como puentes o cables. Por su parte, las condiciones del terreno de- terminan factores críticos como el espacio disponible para acopio, la ubicación y tipo de grúa necesarios y las restricciones de acceso para los camiones. Adicionalmente, el proceso de traslado requiere la evaluación de diferentes factores y restricciones para la distribución y protección de los paneles en el camión, como los tipos de camiones (camión simple, con remolque, semirremolque y con grúa incorpo- rada), sus limitaciones (alto, ancho y largo máximo, altura de plataforma mínima, peso bruto máximo y radio de giro) y las variables climáticas junto con sus respectivas medidas de protección que desem- peñan un papel crucial para garantizar la integridad de los paneles durante el traslado. En cuanto a la etapa de entrega el manual aborda dos estrategias principales: el almacenamiento temporal en obra y el enfoque *just in time*, evaluando sus ventajas y desafíos, particularmente en lo relacionado con la manipulación de paneles y la coordinación logística.

Por otro lado, en la etapa de montaje, se desglosan los procedimientos relacionados con el izaje y ensamblaje de paneles. Se incluyen detalles sobre el sistema de izaje, como sus componentes, la distribución de la fuerza en ellos y las consideraciones de los ciclos de elevación. Además, en la etapa de ensamblaje, se enfatiza en las herramientas que pueden ser útiles cuando se ensamblan paneles de CLT, destacando la importancia de garantizar un proceso seguro. Cabe mencionar que los detalles y consideraciones respecto a las conexiones y el sellado de las juntas no se incluyen en este manual, ya que se hace referencia a documentos complementarios para abordar estos temas. Adicionalmente, se incluyen estrategias de protección climática utilizadas para la etapa de montaje, sin por ello dejar de enfatizar

que no es recomendable realizar este proceso bajo condiciones climáticas adversas.

La nomenclatura utilizada para referirse a las partes de un panel de CLT es otro aspecto esencial a considerar. Debido a su tridimensionalidad y ortotropía, se pueden generar dificultades para identificar a cuál parte física del panel se está haciendo referencia, por lo que es necesario unificar un lenguaje común que permita una comunicación precisa entre los equipos. La Figura 1.2 presenta las definiciones adoptadas, enfatizando las dimensiones y orientaciones que se utilizan para describir los paneles de CLT en este manual, aunque en los proyectos esto puede variar dependiendo de la orientación de las capas internas y la aplicación específica.

El alcance de este manual incluye prácticas reco- mendadas basadas en guías técnicas de provee- dores nacionales e internacionales, como Hilam, StoraEnso, Binderholz, entre otros, así como de fabricantes de herramientas y conectores como Rothoblaas, Simpson Strong-Tie y MTC Solutions. También se han referenciado otras guías y manua- les internacionales como *Canadian CLT Handbook* (FPInnovations, 2019) y *The CLT Handbook CLT struc- tures-design and detailing* (Swedish Wood, 2022) y *CLT 100 UK Projects* (Waugh Thistleton Architects, 2018), así como normativas, manuales y leyes na- cionales (Ministerio De Transportes Y Telecomuni- caciones; Subsecretaria De Transportes (1995), MOP (2023a), MOP (2023b), INN (2024)), proporcionando herramientas prácticas, como diagramas, tablas y listados que facilitan la toma de decisiones respecto al procedimiento en cada etapa del proyecto. Con ello, se espera contribuir al desarrollo de proyectos más estandarizados, eficientes y seguros, alineados con la construcción industrializada.

En definitiva, este manual busca no solo ser una referencia técnica, sino que también fomentar una cultura de buenas prácticas en el manejo de paneles de CLT y promover la participación temprana y coor- dinada entre los equipos involucrados, destacando la importancia de una documentación adecuada que permita el traspaso eficiente de información durante las etapas de transporte y montaje. En el Anexo, se incluye un listado de verificación con los documentos mínimos recomendados para facilitar lo anterior.

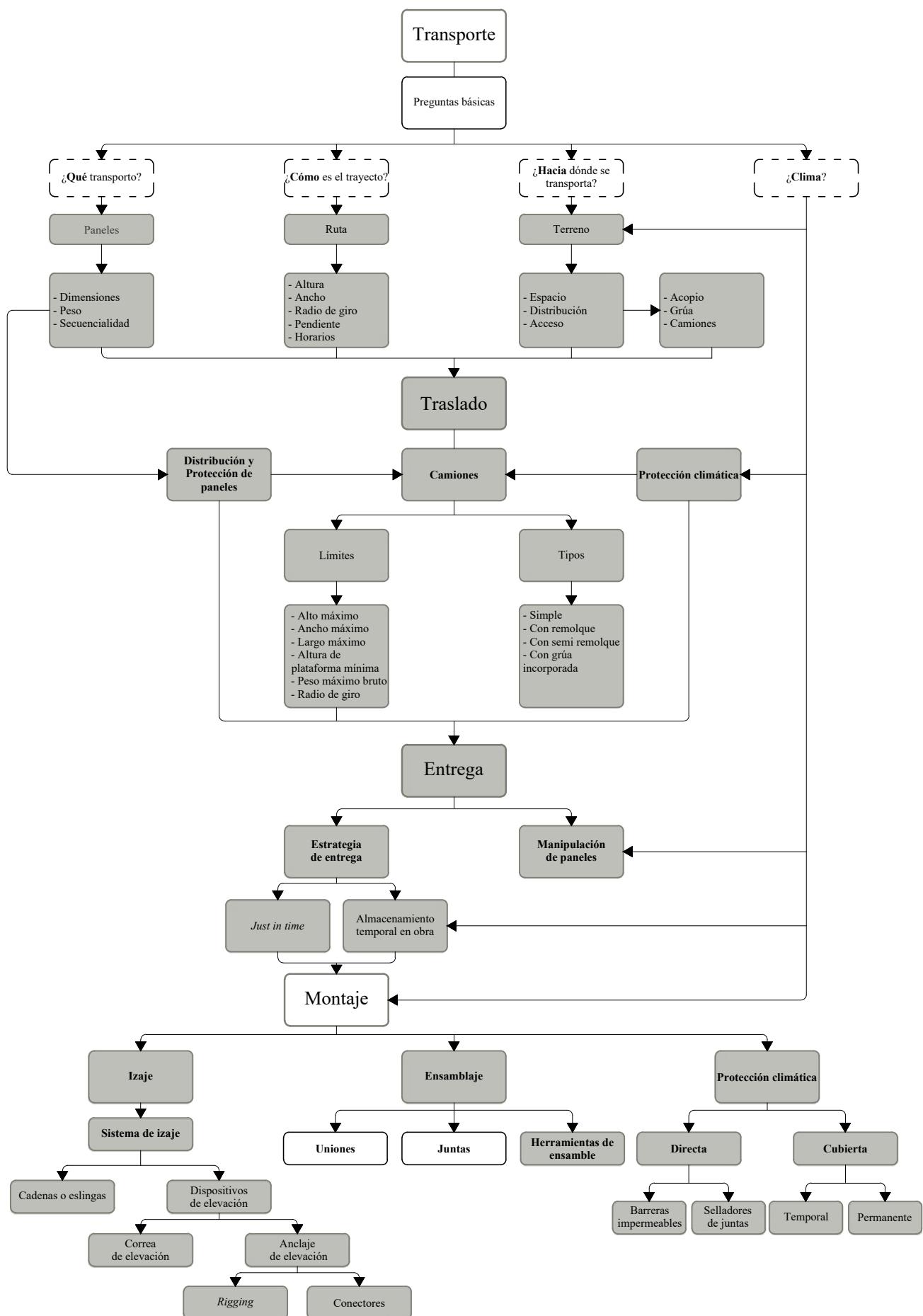
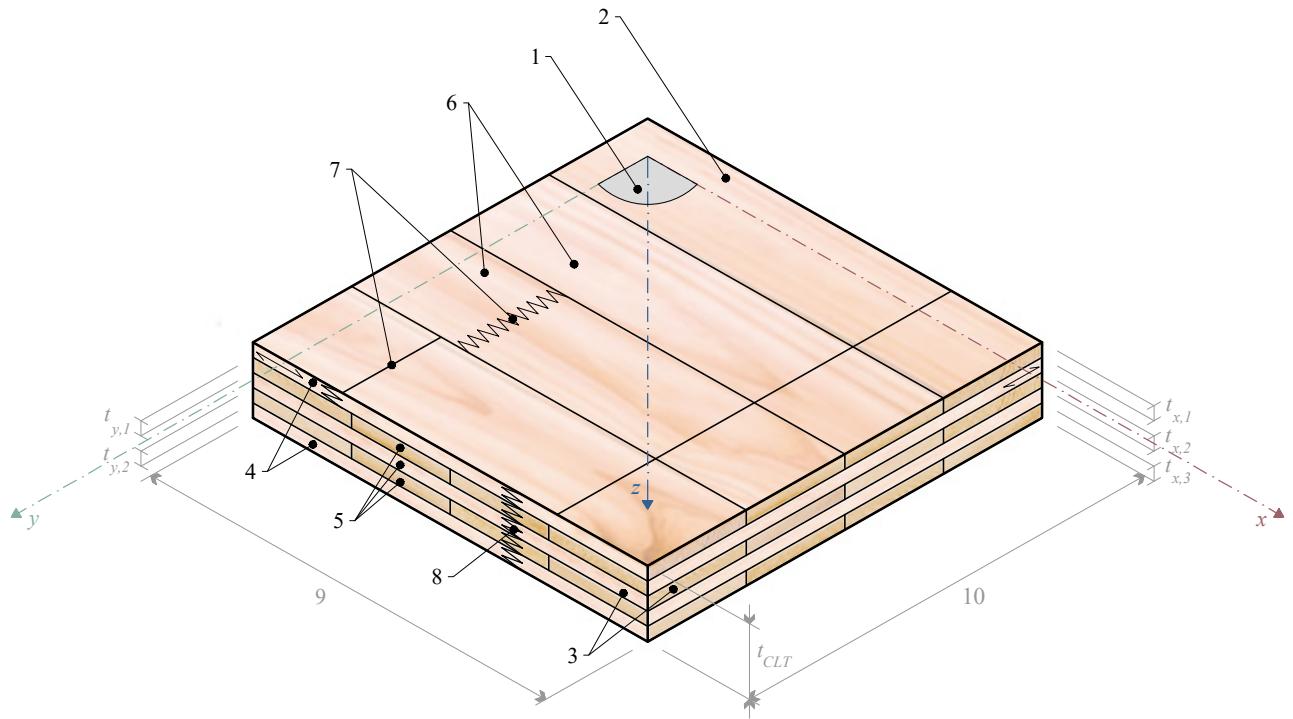


Figura 1.1 - Marco conceptual de las etapas de transporte y montaje de paneles de CLT.



-
- | | |
|---|---|
| 1. plano del elemento | 6. láminas (laminations) |
| 2. cara mayor (wide face) | 7. empalmes por unión dentada en una lámina |
| 3. caras menores o bordes (narrow face) | 8. empalme por unión macrodentada |
| 4. capas exteriores (outer layers) | 9. generalmente el largo L del panel |
| 5. capas interiores (inner layers) | 10. generalmente el ancho b_{CLT} del panel |
-

- | | |
|-----------|--|
| x | eje paralelo a la dirección de la fibra de las capas exteriores |
| y | eje perpendicular a la dirección de la fibra de las capas exteriores |
| t_{CLT} | espesor del panel de CLT |
| $t_{x,i}$ | espesor de la capa i con láminas en la dirección x |
| $t_{y,i}$ | espesor de la capa i con láminas en la dirección y |
-

Figura 1.2 - Partes de un panel de CLT.

2.1 GLOSARIO

Algunos términos incluidos en este glosario no están estandarizados y son propuestos en este manual con el fin de utilizar un lenguaje estándar para las etapas de transporte y montaje.

Capacidad admisible: fuerza que es capaz de resistir un dispositivo de elevación o eslinga. Generalmente en [kN] o [kgf].

Elemento de protección directa: producto repeleente al agua que protege toda la envolvente del panel o localmente una de sus caras, utilizado principalmente para evitar problemas de humedad y para generar una barrera contra las condiciones climáticas durante la etapa de montaje.

Estructura de cubierta: es un tipo de protección climática que cubre total o parcialmente la edificación durante la etapa de montaje, generando una barrera contra las condiciones climáticas.

Sistema de izaje: conjunto de dispositivos técnicos que permiten levantar un elemento constructivo. Se compone de un conjunto de dispositivos de elevación y un conjunto de cadenas o eslingas.

Dispositivo de elevación: elemento del sistema de izaje que en conjunto con las cadenas o eslingas permiten levantar un elemento constructivo. Es instalado y fijado directamente en el panel de CLT. Se dividen principalmente en dos categorías: anclaje de elevación y correa de elevación.

Cadena o eslinga: elemento del sistema de izaje que en conjunto con los dispositivos de elevación permiten levantar un elemento constructivo. Su función es unir el dispositivo de elevación con el gancho de la grúa o máquina utilizada para el izaje, permitiendo además una distribución de las cargas según el peso, rigidez y centro de masa del elemento.

CAPÍTULO 2

GLOSARIO Y SÍMBOLOS

Anclaje de elevación: dispositivo de elevación compuesto por un *rigging* y uno o varios tornillos. Su función es fijar el elemento constructivo al sistema de izaje.

Correa de elevación: dispositivo de elevación de tipo correa (flexible de textil o acero) que puede contar con diferentes configuraciones, pasantes o envolventes del elemento constructivo a iar.

Ciclos de elevación: cantidad de veces que se puede utilizar un dispositivo de elevación o eslinga, antes de cumplir con su vida útil, momento en cual debe ser descartado según las especificaciones del fabricante.

Estrategia just in time: planificación para garantizar que las entregas lleguen al sitio solo cuando se necesitan, evitando así los costos adicionales y los riesgos asociados al almacenamiento en el lugar de la obra, mejorando la eficiencia general de la construcción (CIM UC, 2024).

Puntal de montaje: barra, usualmente metálica o de madera, que controla la verticalidad de paneles y sostiene provisoriamente los elementos a la

espera de fijaciones definitivas. Existen alternativas metálicas mecánicas que permiten extensión y acortamiento, con extremos rotulados que le permiten adaptarse a la geometría de la situación de montaje.

Tirapaneles: Herramienta manual compuesta por dos puntos de anclaje, conectados mediante un par de barras hiladas, una con hilo izquierdo y otra con hilo derecho, que se hacen rotar mediante un sistema de trinquete que permite la tracción de un elemento para acomodo de su posición definitiva en obra.

Línea de vida: cable de acero conectado a dispositivos estacionarios en cada extremo, que actúa como una guía para garantizar una circulación segura en trabajos en altura. Se utiliza al conectar dispositivos de seguridad individuales, como cabos de vida o líneas retráctiles, que forman parte de los sistemas de arnés de seguridad.

Viento o cabo de izaje: cable utilizado para la manipulación del elemento izado desde una distancia segura, se deben utilizar dos por elemento de modo de poder maniobrar en direcciones opuestas.

2.2 SÍMBOLOS

s_{bn} : espaciamiento mínimo entre un conector y un borde medido en la dirección del eje y o z del panel	b : distancia horizontal entre el centro de gravedad del panel y centro de gravedad del dispositivo de elevación B
s_{bp} : espaciamiento mínimo entre un conector y un borde medido en la dirección del eje x del panel	F_a : fuerza correspondiente al dispositivo de elevación A
P : peso de la carga de izaje	F_b : fuerza correspondiente al dispositivo de elevación B
ρ_{12} : densidad del panel	z : coeficiente de ángulo de izaje
V : volumen del panel	β : ángulo de inclinación de la eslinga o cadena respecto a la dirección normal de la superficie donde se instala el dispositivo de elevación
L : largo del panel	α : dos veces el ángulo de inclinación de la eslinga cuando está simétricamente instalada
b_{CLT} : ancho del panel	N : número de dispositivos de elevación efectivos
t_{CLT} : espesor del panel	F_i : fuerza correspondiente al dispositivo de elevación i
f : factor de aceleración dinámica	
a : distancia horizontal entre el centro de gravedad del panel y centro de gravedad del dispositivo de elevación A	



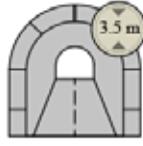
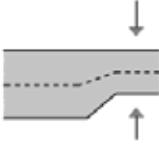
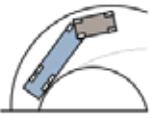
CAPÍTULO 3

TRANSPORTE

En este capítulo se presentan las principales consideraciones para el traslado y entrega de paneles de CLT, desde su lugar de fabricación hasta la obra. Entre las consideraciones de traslado se detallan: (1) el tipo de camión y sus limitaciones para la carga de paneles, (2) la distribución y protección de los paneles en el camión, y (3) medidas de protección climática durante la etapa de transporte. Con respecto a las consideraciones de entrega, se mencionan las dos principales estrategias de entrega: (1) estrategia *just in time* y (2) almacenamiento temporal en obra, junto a sus principales ventajas comparativas. Sumado a esto, se indican consideraciones importantes tanto para la manipulación de paneles como para su almacenamiento temporal en obra, con el fin de garantizar su integridad y facilitar la posterior etapa de montaje.

Cabe mencionar que previo a la etapa de transporte es sumamente relevante realizar un análisis de las condiciones de trayecto y obra, debido a que estas determinarán en gran medida las consideraciones de traslado y entrega antes mencionadas. Las Recomendaciones prácticas 3.1 ofrecen una guía y sugieren algunos puntos clave que se recomiendan incluir en el análisis. Es importante señalar que cada trayecto y emplazamiento tienen sus propias particularidades y su evaluación depende de las condiciones y requerimientos de cada proyecto. Sin embargo, se sugiere considerar aspectos como la ubicación de la grúa, la altura de cables, árboles u otros obstáculos similares, la pendiente, regularidad y tipo de suelo del terreno, y las características de la zona (rural, urbana o urbana densificada), los cuales pueden influir en la etapa de transporte. Pese a que es criterio del proyectista el nivel de detalle que incluye en los análisis previos, cuanto más exhaustivo sea el análisis de las condiciones de trayecto y obra, mayor eficiencia y éxito tendrá la etapa de transporte, reduciendo riesgos, imprevistos y costos asociados.

Recomendaciones prácticas 3.1 – Análisis de las condiciones de trayecto y obra
(elaboración propia basada en CIM UC (2024)).

	<p>1- Reconocer el estado de la ruta. Considerar si el camino es rural o no y en qué condiciones se encuentra, si es pavimentado o no, si presenta eventos o pendientes empinadas, etc.</p>
	<p>2- Identificar las alturas máximas que puede tener el camión cargado según la ruta escogida, ya que esta puede presentar puentes, pasos bajo nivel o túneles que limiten la altura.</p>
	<p>3- Evaluar si la ruta tiene calles con dimensiones reducidas e identificar el ancho de calle mínimo para la circulación del camión.</p>
	<p>4- Identificar el radio de giro mínimo para el viraje del camión.</p>
	<p>5- Identificar puentes o caminos que puedan limitar el tonelaje del camión, especialmente en zonas rurales.</p>
	<p>6- Reconocer restricciones específicas de las calles de la ruta definida, como por ejemplo, horarios de circulación para camiones.</p>
	<p>7- Considerar características del acceso a la obra como dimensiones, pendiente, espacio disponible y tránsito en sus alrededores.</p>
	<p>8- Considerar el tamaño y la distribución del terreno, en especial para determinar la ubicación de la grúa, del camión y del sector de acopio e izaje de los paneles.</p>

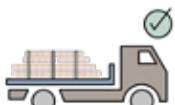
3.1 CONSIDERACIONES DE TRASLADO

Al igual que el análisis previo, la planificación y documentación generada para el traslado de los paneles (como planos de distribución de carga en el camión, documentos de verificación de entrega e instrucciones de traslado) requiere una inversión inicial de tiempo y recursos. Sin embargo, ambas conllevan a obras más eficientes y económicas. En la Tabla 5.1 del Anexo se incluye un listado de la documentación mínima recomendada para las etapas de transporte y montaje.

Adicionalmente en Recomendaciones prácticas 3.2 se mencionan algunas consideraciones y buenas

prácticas para la etapa de transporte a modo general. Entre ellas, se destaca el sistema de etiquetado de los paneles que, si se integra indicando la secuencialidad del montaje, permite un proceso de transporte (distribución en el camión, traslado, entrega y acopio) más eficiente al considerar qué paneles se utilizarán primero y cuáles después. Esta información puede ser esencial para ejecutar los procedimientos indicados en el manual de montaje y garantizar un buen traspaso de información entre las etapas del proyecto (Swedish Wood, 2022).

Cabe mencionar que en las secciones 3.1.2 y 3.1.3 se indican recomendaciones prácticas específicas para la protección de paneles durante el traslado frente a golpes y a condiciones climáticas respectivamente.

Recomendaciones prácticas 3.2 – Consideraciones generales para la etapa de transporte (elaboración propia basada en [1] [2] [3]).	
	<p>1- Conocer las dimensiones, peso, secuencialidad de montaje y nivel de terminación de los paneles de CLT, con el fin de generar un diseño eficiente de carga en el camión.</p>
	<p>2- Implementar un sistema de etiquetado o identificación de los paneles para una adecuada trazabilidad.</p>
	<p>3- Seleccionar el (o los) vehículo(s) adecuado(s) para el transporte de la carga. Se recomienda el uso de camiones con plataforma (preferentemente antideslizante) y no de tipo porta contenedor.</p>

Fuentes:

[1] Piris Bernal (2015)

[2] Swedish Wood (2022)

[3] Waugh Thistleton Architects (2018)

3.1.1 Tipo y limitaciones de camión según carga de paneles

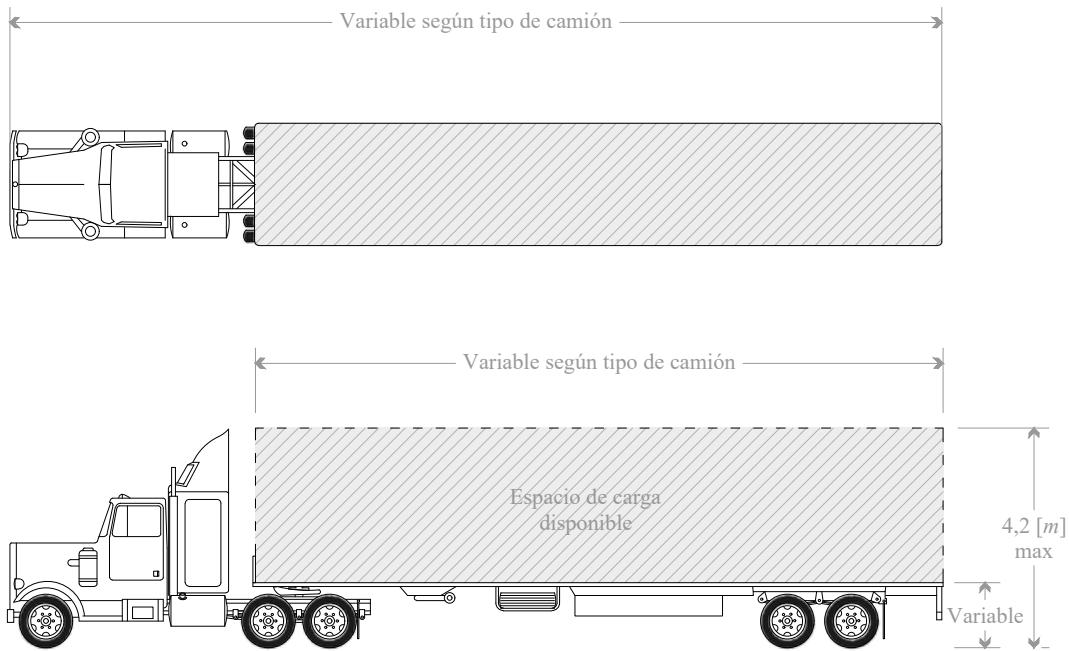


Figura 3.1 - Límites dimensionales del camión para su libre circulación en territorio nacional. Elaboración propia basada en Ministerio De Transportes Y Telecomunicaciones; Subsecretaría De Transportes (1995).

Es fundamental conocer las dimensiones y el peso de los paneles para determinar el tipo de camión requerido para el traslado. Además, las condiciones del terreno (espacio, acceso, distribución, etc.) determinarán si es necesario el uso de un camión con grúa incorporada, en cuyo caso, otra variable a considerar será el largo del brazo de la grúa.

Cualquiera sea el caso, la carga total y las dimensiones máximas del conjunto de paneles a transportar no deben superar los límites permitidos por la Ley de Tránsito Chilena N° 18.290 Art. 56. En la Figura 3.1 se indican las dimensiones máximas que puede tener el camión con o sin carga incluida para su libre circulación en territorio nacional. Cabe mencionar que en la medida del ancho máximo exterior del vehículo no se consideran los espejos retrovisores exteriores ni sus soportes, mientras que el alto máximo es medido desde el nivel del suelo (Ministerio De Transportes Y Telecomunicaciones; Subsecretaría De Transportes, 1995).

Por otro lado, la carga máxima que puede transportar el camión depende del peso propio del camión¹ y del peso máximo bruto determinado por el Manual de Carreteras. El peso de la carga máxima que puede transportar el camión se calcula según la expresión (3.1), la cual considera también el peso de los ocupantes. A modo general, el peso bruto máximo no debe superar las 45 toneladas (MOP, 2023b), por lo que si se considera un camión que pese 20 toneladas la carga no podrá superar 25 toneladas, lo cual se traduce en $52,3 \text{ m}^3$ de CLT (cálculo considerando una densidad de $478 \text{ [kg/m}^3]$ (INN, 2024). Con el fin de facilitar este cálculo y la selección del camión (sobre todo si se considera que, en la mayoría de los casos, el proyectista no conoce el tipo de camión, su peso bruto máximo o peso propio), se ha desarrollado la Tabla 3.2 que sugiere de forma conservadora el rango del peso de la carga máxima y el rango de volumen de CLT que se puede transportar según el tipo de camión.

1. En la Tabla 5.2 del Anexo se encuentra el peso bruto máximo y longitud máxima del camión según su tipo (nomenclatura del MOP).

$$(3.1) \quad P_{carga,máx} = P_{bruto,máx} - P_{camión} - P_{ocupantes}$$

$P_{carga,máx}$: Peso de la carga máxima que puede transportar el camión.

$P_{bruto,máx}$: Peso máximo bruto determinado por el Manual de Carreteras.

$P_{camión}$: Peso propio del camión

$P_{ocupantes}$: Peso de los ocupantes

En ocasiones donde la carga excede las dimensiones o peso máximas permitidas, el camión deberá contar con una autorización para transportes especiales, la cual se deberá solicitar con antelación y por escrito a la Dirección de Vialidad. Es importante señalar

que esta autorización requiere indicar información específica para realizar el traslado (como el lugar de origen y de destino, el peso de la mercadería a trasladar, la distribución de pesos por eje y la fecha aproximada en que se hará el traslado), la cual no podrá ser modificada una vez aprobada. Además, cabe señalar que esta excepción es válida para cargas indivisibles y que no pueden ser transportadas por otros medios. Sumado a esto, la autorización deberá ser comunicada a Carabineros de Chile para que se implementen las medidas de seguridad necesarias para el traslado (MOP, 2023a). En la Tabla 3.1 se indican las dimensiones máximas permitidas según el manual de autorización de transportes especiales, las cuales dependen principalmente de las características de la plataforma para asegurar la estabilidad de la carga.

TABLA 3.1 – Dimensiones máximas permitidas para transportes especiales con autorización según MOP (2023a).

	Alto plataforma, h_p [m]	Alto máximo [m]
	$h_p \leq 0,8$	$> 6,0$
Alto máximo según alto de plataforma 1	$0,8 \leq h_p \leq 1,0$	6,0
	$1,0 \leq h_p \leq 1,3$	5,0
	Ancho plataforma, b_p [m]	Ancho máximo de la carga [m]
Ancho máximo de la carga según ancho de plataforma 2	$2,5 \leq b_p \leq 2,7$	3,7
	$2,7 \leq b_p \leq 2,8$	3,8
	$2,8 \leq b_p \leq 2,9$	3,9
	$2,9 \leq b_p \leq 3,0$	4,0
	$3,0 \leq b_p \leq 3,2$	4,5
	$3,2 \leq b_p \leq 3,4$	6,4
	$b_p > 3,4$	$> 6,4$
	Largo plataforma [m]	Largo máximo de la carga [m]
Largo máximo según largo de plataforma 3	$< 13,0$	Igual a plataforma
	$\geq 13,0$	10% adicional al largo de plataforma

Nota 1: Para casos en que la altura de la plataforma sea mayor que 1,3 y menor o igual a 1,4 metros, se podrá autorizar de forma excepcional que puedan llevar como máximo 4,5 metros de alto máximo, previa presentación y aprobación de un estudio de estabilidad y fijación de la carga.

Nota 2: Para casos en que el apoyo de la carga sobre la plataforma sea menor que el ancho de la carga y no cumpla con lo indicado en la presente tabla, se podrá autorizar la circulación, excepcionalmente, previa presentación y aprobación de un estudio de estabilidad y fijación de la carga.

Nota 3: Los largos máximos presentados no aplican para la rampla extensible direccional.

Cabe señalar que en el Manual de autorizaciones para transportes especiales se indican exigencias adicionales como la presentación de antecedentes en Carabineros de Chile (y evaluación de exigencia de escolta en todo el recorrido) cuando se presenten uno o más de los siguientes casos: (1) ancho mayor o igual a 3,6 m, (2) largo mayor o igual a 30 m, (3) alto mayor o igual a 5 m y (4) peso bruto total (PBT) mayor o igual a 100 ton. Asimismo, ante la existencia de otras condiciones como circulación en zonas urbanas de alto tránsito, características de las rutas que presenten dificultad para el desplazamiento, horarios especiales, etc. Otras exigencias adicionales que se mencionan en el manual es el estudio de la ruta, listado y/o estudio de puentes y estructuras, inspección en terreno, letrero especial, entre otras, todas especificadas con sus respectivos requerimientos y restricciones. Por esto, es importante evaluar adecuadamente las características del camión,

pues el sobredimensionamiento de cargas o de límites de peso conducirá a costos adicionales asociados a la autorización y eventual uso de escolta (MOP, 2023a).

A continuación, se describen los tipos de camiones de carga para el transporte de paneles de CLT (Giro limpio (n.d.), MOP (2023b), Piris Bernal (2015)). En la Figura 3.2 se indican sus subcategorías, junto con los largos máximos útiles para la carga de paneles (L) y la altura mínima común de la plataforma (h), que en los casos de camión con remolque y semirremolque depende de si su plataforma es de tipo plana o de tipo cama baja. Es importante señalar que las plataformas tipo cama baja son escasas y generalmente más caras, por lo que, aunque permitan mayor altura útil, es probable que sea conveniente realizar más traslados con menor volumen de paneles de CLT, debido al costo adicional de utilizar una maquinaria más específica.

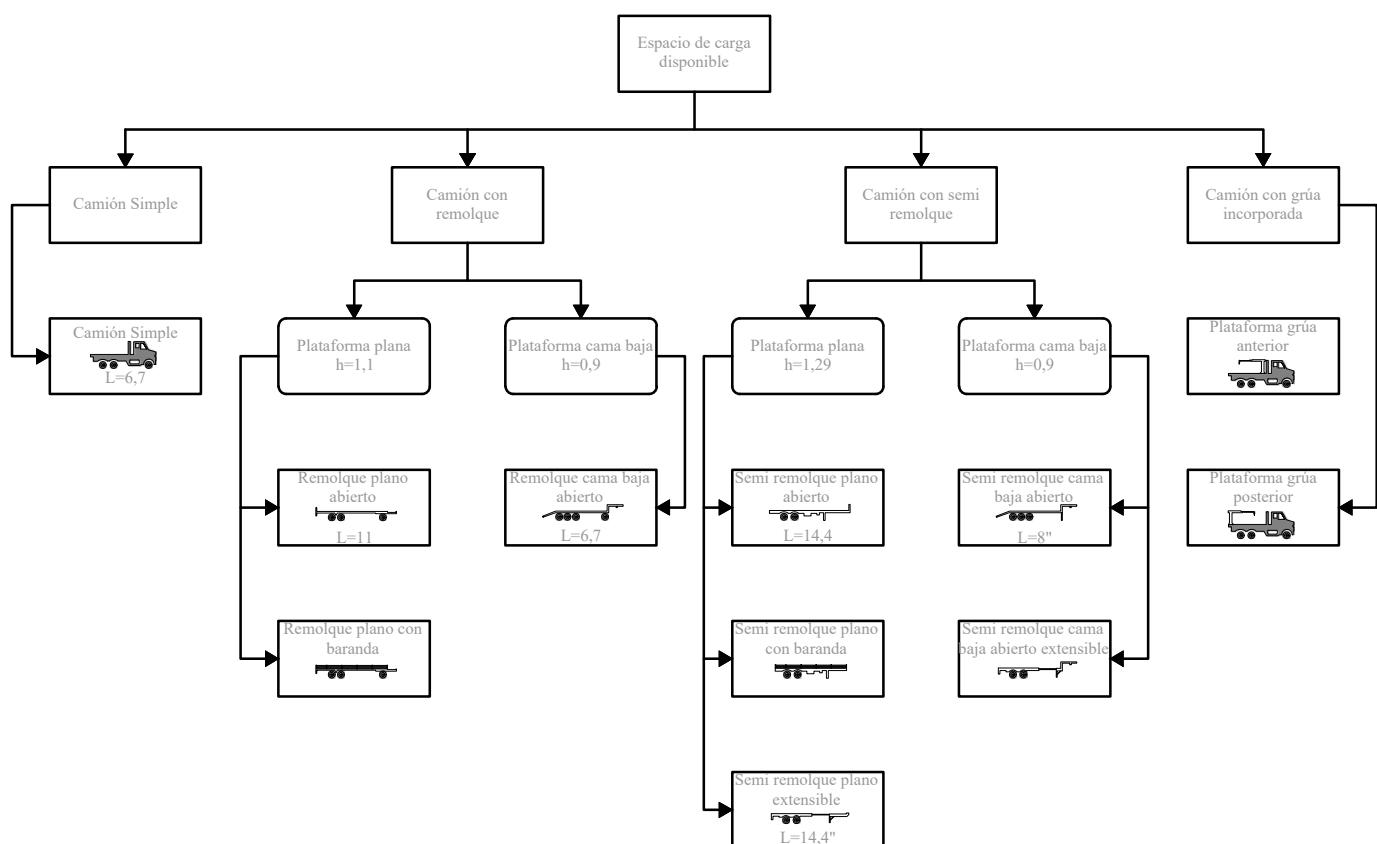


Figura 3.2 - Tipos de camiones de carga para el transporte de paneles de CLT (elaboración propia basada en clasificación de Giro limpio (n.d.), MOP (2023b), Piris Bernal (2015)).

3.1.1.1 Camión simple

Vehículo de carga motorizado de una sola unidad y plataforma fija. Es utilizado para transportar cargas de tamaño y peso moderado, debido a sus límites totales de 11 metros de longitud y peso máximo bruto entre 18 y 36 toneladas dependiendo de la configuración de ejes (MOP, 2023b). Estos camiones generalmente tienen dos ejes y se usan para el transporte local o distribución. Su peso propio (sin carga) varía entre 5 y 9 toneladas (AASHTO, 2004).

3.1.1.2 Camión con remolque

El remolque consiste en un vehículo no motorizado que cuenta con más de un grupo de ejes, diseñado para el transporte de carga y para ser remolcado por otro vehículo, al cual se conecta mediante una barra de tiro (MOP, 2023a). Sus límites totales de longitud son de 11 y 20,5 metros para el remolque y el camión con remolque respectivamente. Con respecto al peso del camión con remolque, su peso máximo bruto es de 45 toneladas. (MOP, 2023b), mientras que su peso propio (sin carga) varía entre 16 y 22 toneladas (AASHTO, 2004).

Como se puede observar en la Figura 3.2, el remolque puede ser de tipo plataforma plana (abierta o con baranda) o plataforma con cama baja. La plataforma de cama baja permite una mayor altura útil debido a que se pueden encontrar menores alturas mínimas de la plataforma, sin embargo, el largo útil para el transporte de paneles se reduce debido a la caída escalonada de su geometría. Por otro lado, el remolque plano abierto permite exceder el ancho de la carga respecto al ancho de la plataforma a diferencia del remolque plano con baranda.

3.1.1.3 Camión con semirremolque

El semirremolque consiste en un vehículo no motorizado que cuenta con un grupo de ejes único, diseñado para el transporte de carga y para ser remolcado por otro vehículo, cuando parte de su peso se recibe en el vehículo que lo remolca por medio de una quinta rueda (MOP, 2023a). Sus límites totales de longitud son de 14,4 y 18,6 metros para el semirremolque y el camión con semirremolque respectivamente.

La combinación de camión con semirremolque tiene un peso máximo bruto entre 39 y 45 toneladas dependiendo de la configuración y distancia entre ejes extremos (MOP, 2023b). Mientras que el peso propio (sin carga) varía entre 14 y 18 toneladas, la mayor parte proviene del cabezal ya que el semirremolque sin carga es relativamente ligero (AASHTO, 2004).

Como se puede observar en la Figura 3.2, el semirremolque, además de permitir las configuraciones plataforma plana (con o sin baranda) y plataforma de cama baja, permite plataformas extensibles con longitudes útiles superiores al límite de 14,4 metros, por lo que requieren autorización para transporte especial.

3.1.1.4 Camión con grúa incorporada

Vehículo que tiene una grúa incorporada en su estructura, que permite la carga y descarga autónoma de materiales pesados sin la necesidad de equipos adicionales en el sitio. También es conocido como camión pluma. Es importante identificar y evaluar la altura que puede alcanzar el brazo de la grúa (Giro limpio, n.d.).

TABLA 3.2 – Características de los camiones tipo (elaboración propia basada en AASHTO (2004) y MOP (2023b)).

	Camión simple	Camión con remolque	Camión con semirremolque
Peso máximo bruto [t]	18 – 36	40 – 45	29 – 45
Peso propio [t]	5 – 9	16 – 22	14 – 18
Largo máximo útil [m]	6,7	11	14,4
Radio de giro interno [m]	7,4	6,8	7,96
Radio de giro externo [m]	14,1	13,9	17,3
Rango de Capacidad de la carga [t]	9 – 27	18 – 23	11 – 27
Volumen máximo de CLT [m ³]	56,5	48,1	56,5

3.1.2 Distribución y protección de paneles en el camión

Las estrategias de distribución de los paneles CLT en el camión son fundamentales para mantener la estabilidad de la carga, reducir costos en el transporte (al optimizar el espacio y cantidad de viajes) y reducir riesgos de daños durante su traslado por raspaduras o golpes. Para lograr lo anterior se sugiere considerar la protección para el traslado de paneles mencionadas en las Recomendaciones prácticas 3.3. Además, es considerado una buena práctica incluir planos de carga que indiquen el lugar de los paneles dentro del camión. Este tipo de documentación facilita el traspaso de información entre las etapas, puede optimizar el espacio y distribución de los paneles y anticipar con precisión el aseguramiento de la carga (Binderholz, n.d.).

La distribución de los paneles al interior del camión puede realizarse principalmente en dos posiciones: (1) horizontal o (2) vertical. La distribución en **posición horizontal** de los paneles (ver

Figura 3.3) es recomendable cuando estos son en su mayoría de gran tamaño y espesor y son similares entre sí, ya que permite apilar los paneles de manera uniforme y reducir el movimiento de los paneles durante el trayecto. Mientras que la distribución en **posición vertical** (ver Figura 3.4) es recomendable para el traslado de paneles de tamaños más variables entre sí, reduciendo daños por raspaduras, rayones, deformaciones o golpes, al evitar un apilamiento mal distribuido. Esto siempre y cuando se utilicen soportes y fijaciones para mantener los paneles en su lugar y evitar que se muevan durante el traslado. La posición vertical también se aplica cuando los paneles son más anchos que el ancho límite del camión², permitiendo su traslado inclinado apoyado en una estructura en forma de A como la que se indica en la Figura 3.4. Cabe mencionar que esta distribución es menos usual, ya que generalmente permite cargar un menor volumen de paneles debido a la estructura central (Ahvenainen & Sousa, 2016), y debido al requerimiento de dicha estructura específica.

2. Si el camión es abierto, también existe la alternativa de sobreponer su ancho límite, pero esta opción requiere autorización para transportes especiales y cumplir con el ancho máximo sobredimensionado según el ancho de la plataforma.

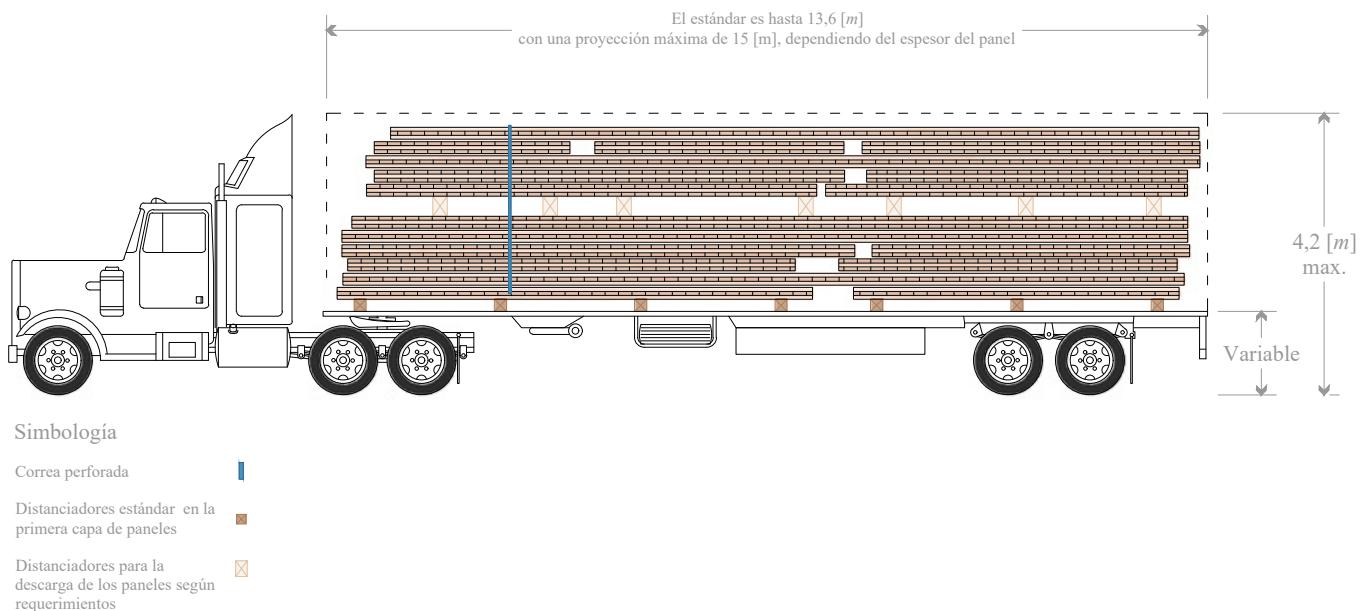


Figura 3.3 - Distribución horizontal de los paneles en el camión (Fuente: Ahvenainen & Sousa (2016)).

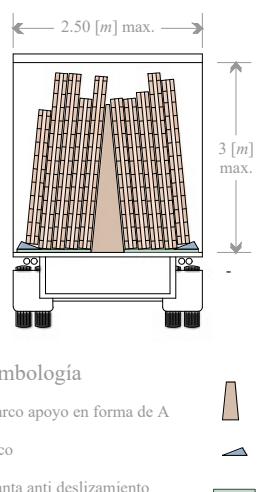
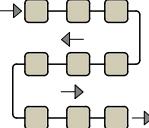
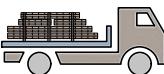
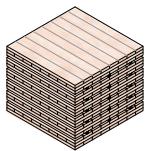
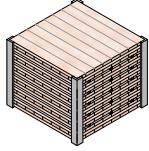
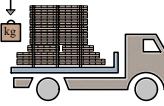


Figura 3.4 - Distribución vertical de los paneles en el camión (Fuente: Ahvenainen & Sousa (2016)).

Recomendaciones prácticas 3.3 – Distribución y protección de paneles en el camión (elaboración propia basada en [1] [2] [3] [4] [5]).

	<p>1- Considerar la secuencia de montaje de paneles en la distribución de carga en el camión.</p>
	<p>2- Asegurar la carga con eslingas de tensión para evitar movimientos durante el transporte, pero sin aplicar una presión excesiva que pueda causar daños o aplastamientos en la madera, sobre todo en la cara menor del panel. O agregar elementos de protección en los bordes para evitar que se marquen las eslingas.</p>
	<p>3- Evitar rayones, golpes o desgaste en las superficies de los paneles, para lo cual se sugiere colocar un material que amortigüe el contacto entre ellos, o asegurar una buena limpieza de la superficie. Mantener una separación regular en los paneles es beneficioso sobre todo cuando vienen con los dispositivos de elevación instalados desde la fábrica; además, facilita la colocación de las eslingas para el proceso de descarga.</p>
	<p>4- Proteger los bordes y esquinas con refuerzos adicionales, ya que estos son los más vulnerables a impactos.</p>
	<p>5- Verificar la estabilidad de la carga y evitar maniobras bruscas durante el traslado.</p>
	<p>6- En caso de distribución horizontal, se recomienda ubicar los paneles de mayor peso abajo y utilizar separadores rígidos para evitar que los paneles se aplasten bajo la carga de su propio peso y reducir deformaciones.</p>
	<p>7- En caso de distribución vertical, se recomienda el uso de soportes que amortigüen el contacto del panel con la plataforma del camión, para evitar daños en la cara menor del panel. Por ejemplo, se puede considerar el uso de tacos de sacrificio de madera atornillados al panel durante el traslado.</p>

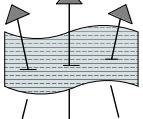
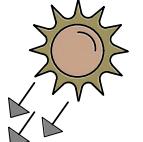
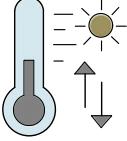
Fuentes:

- [1] Binderholz (n.d.)
- [2] Hilam (n.d.)
- [3] SmartLam (2020)
- [4] Swedish Wood (2022)
- [5] Waugh Thistleton Architects (2018)

3.1.3 Medidas de protección climática durante el transporte

Adicionalmente a la protección frente a golpes descrita en la sección 3.1.2, es fundamental proteger los paneles de CLT de las condiciones climáticas durante el transporte con envolturas. Estas pueden ser en forma individual, de paquetes o de la carga completa (Binderholz, n.d.), como se puede

observar en la Figura 3.5, Figura 3.6 y Figura 3.7 respectivamente. Esto con el fin de evitar una posible exposición prolongada a la humedad o a la radiación solar. Aplicar estas medidas permite mantener la calidad y durabilidad de los paneles, lo cual se traduce directamente en evitar costos por daños o futuras mantenciones anticipadas de los elementos. Para esto, se sugiere seguir las Recomendaciones prácticas 3.4.

Recomendaciones prácticas 3.4 – Protección climática durante el traslado de paneles (elaboración propia basada en [1] [2] [3] [4] [5]).	
	1- Proteger los paneles con envolturas impermeables para evitar su exposición a la humedad, lluvia, nieve, etc.
	2- Las envolturas deben ser transpirables para permitir la circulación del aire y evitar la acumulación de humedad y la proliferación de hongos.
	3- Evitar la exposición prolongada al sol para reducir el riesgo de decoloración de la madera.
	4- Evitar la exposición de los paneles a cambios bruscos de temperatura para reducir riesgos de deformaciones y grietas, por hinchazón y merma debido a cambios de humedad.

Fuentes:

- [1] FPInnovations (2019)
- [2] Hilam (n.d.)
- [3] SmartLam (2020)
- [4] Swedish Wood (2022)
- [5] Waugh Thistleton Architects (2018)

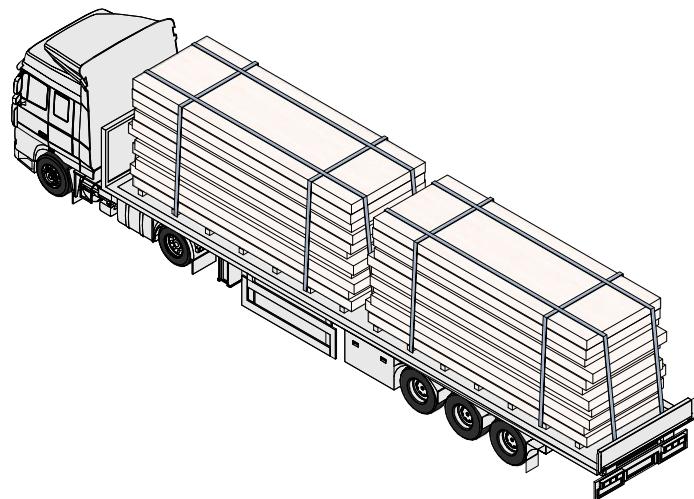


Figura 3.5 - Envoltura de paneles de forma individual para su protección climática durante la etapa de transporte.

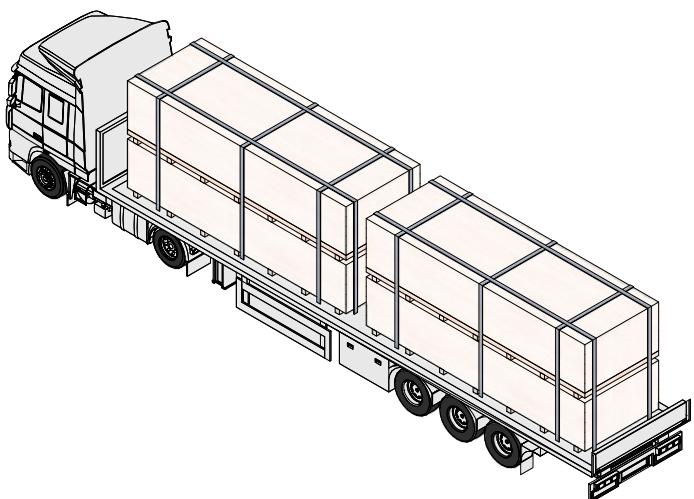


Figura 3.6 - Envoltura de paquetes de paneles para su protección climática durante la etapa de transporte.

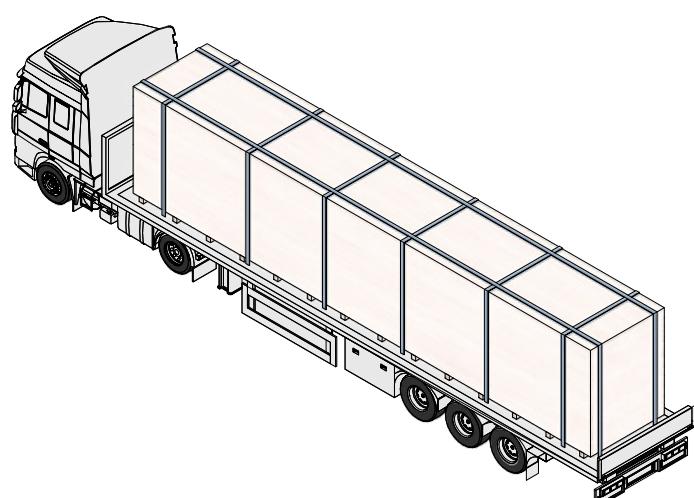


Figura 3.7 - Envoltura de la carga total del camión para su protección ambiental durante la etapa de transporte.

3.2 CONSIDERACIONES DE ENTREGA

Existen dos estrategias de entrega principales: (1) la estrategia *just in time* y (2) la estrategia de almacenamiento temporal en obra. La primera consiste en entregar los paneles de CLT justo en el momento en que está programado el montaje en su ubicación final en la obra. Mientras que la segunda, como su nombre lo indica, acopia los paneles una vez que son entregados hasta que sean requeridos para su montaje definitivo.

En la Tabla 3.3 se describen las ventajas comparativas de una estrategia con respecto a la otra teniendo claro que la elección de la estrategia requiere ser evaluada según las condiciones específicas de la obra. Aplicar la estrategia *just in time* en proyectos de paneles de CLT puede disminuir el riesgo de daño en los paneles por exposición a la humedad, a condiciones climáticas adversas, cambios fuertes de temperatura y radiación solar directa, deformaciones por peso propio de los paneles, entre otros (Swedish Wood, 2022).

Por otro lado, planificar la estrategia de entrega permite un traslado de los paneles a la obra más eficiente, ya que si se implementa la estrategia *just*

in time se requieren los paneles en el orden de la secuencialidad de montaje. Mientras que, si se opta por la estrategia de almacenamiento temporal en obra, conviene realizar primero el despacho de los paneles que se utilizarán después y que estarán más tiempo almacenados (es decir en el orden inverso a la secuencialidad del montaje) facilitando el acceso a los paneles cuando se requieran en la etapa de montaje (Swedish Wood, 2022).

Otro aspecto que se debe tener en consideración es el uso y elección de la grúa. Como se mencionó anteriormente, las condiciones del terreno, el espacio disponible, la distribución y el acceso determinarán si es necesario el uso de un camión con grúa incorporada. Sin embargo, es importante diferenciar la grúa de montaje de la que se utilice para descargar, de modo que la grúa de montaje se opere priorizando la continuidad de operación del equipo de montaje. Contar con una grúa solo para la descarga de todos los materiales de la obra es deseable desde la evaluación de la planificación, aunque se debe verificar el costo operacional asociado al disponer de dos (o más) grúas. Asimismo, en casos en que la etapa de transporte se efectúe por terceros con camión pluma, se debería considerar con anterioridad si el uso de la grúa incorporada es solo para descarga o si incluye también el montaje de los paneles transportados.

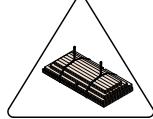
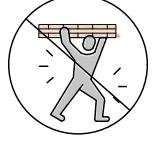
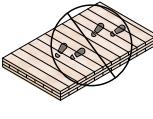
TABLA 3.3 – Ventajas comparativas de las estrategias de entrega (elaboración propia).

Ventaja / Estrategia	Just in time	Almacenamiento temporal en obra
Uso de espacio en obra	No requiere espacio en obra para almacenar los paneles.	Requiere espacio en obra para almacenar los paneles.
Flexibilidad de entrega	Baja, depende de una alta logística y coordinación.	Alta, permite una mayor holgura en la programación y en la gestión de imprevistos.
Riesgo de daños	Menor, debido a la instalación inmediata de los paneles.	Mayor, debido a la exposición de condiciones climáticas y de apilamiento de paneles.
Manipulación de los paneles	Menor, al reducir traslados, cargas y descargas asociadas al almacenamiento.	Mayor, al adicionar traslados, cargas y descargas en obra para el almacenamiento y posterior montaje de paneles.
Costo de la logística	Mayor en la planificación de entrega y menor en la cantidad de operaciones, manejo de inventario y plazos asociados.	Menor en la planificación de entrega y mayor en la cantidad de operaciones, manejo de inventario y plazos asociados.

3.2.1 Instrucciones de manipulación

Según lo descrito en la Guía de Diseño e Industrialización en madera (CIM UC, 2024), las instrucciones de manipulación corresponden a “indicaciones respecto a la forma correcta en que se deben manipular los elementos en el proceso de traslado, almacenaje e instalación”. Un mal manejo de los paneles puede causar daños en sus propiedades me-

cánicas y estéticas; además, puede causar posibles accidentes y afectar la seguridad de los trabajadores y la integridad de los materiales e instrumentos de trabajo. Por esto, las instrucciones de manipulación se recomiendan como una documentación mínima para las etapas de transporte y montaje (ver Tabla 5.1 del Anexo). En las Recomendaciones prácticas 3.5 se sugieren algunas indicaciones indispensables, sobre todo para el proceso de entrega.

Recomendaciones prácticas 3.5 - Manipulación de paneles (elaboración propia basada en [1] [2] [3] [4] [5]).	
	1- Garantizar que el personal a cargo de manipular los paneles esté capacitado para ello.
	2- Evitar la manipulación de paneles en condiciones climáticas adversas (como lluvia, viento fuerte, nieve o temperaturas extremas) que puedan afectar la seguridad de los trabajadores y la integridad de los paneles.
	3- Usar guías y sujeción controlada para la descarga de paneles y así evitar posibles accidentes.
	4- Tener en cuenta el peso de los paneles. Estos no deberían ser cargados directamente por personas, sino con la maquinaria adecuada que sea capaz de levantarlos en forma segura y estable para su descarga y traslado in situ.
	5- Verificar la entrega e identificar cualquier daño visible, suciedad o contenido de humedad.
	6- Procurar no arrastrar los paneles, pisarlos o ensuciarlos con barro para mantener su aspecto visual.

Fuentes:

- [1] Binderholz (n.d.)
- [2] Hilam (n.d.)
- [3] SmartLam (2020)
- [4] Swedish Wood (2022)
- [5] Waugh Thistleton Architects (2018)

3.2.2 Almacenamiento temporal en obra

Para los casos en que los paneles no puedan ser instalados inmediatamente al momento de la descarga, se debe cumplir con las instrucciones de acopio del fabricante o proyectista. Estas, al igual que las instrucciones de manipulación, se reco-

miendan como una documentación mínima para un buen traspaso de la información (ver Tabla 5.1 del Anexo). Algunas de estas instrucciones para el almacenamiento temporal en obra y reducir posibles daños y deformaciones en los paneles debido al acopio se mencionan en las Recomendaciones prácticas 3.6.

Recomendaciones prácticas 3.6 – Almacenamiento temporal de paneles en obra (elaboración propia basada en [1] [2] [3] [4] [5] [6]).	
	1- Tener en cuenta la cantidad máxima de apilamiento según el peso propio de los paneles para evitar deformaciones y según las unidades máximas a apilar especificadas por el fabricante para resguardar la estabilidad dimensional.
	2- Asegurarse de cubrir los paneles no envueltos y reparar las envolturas dañadas durante el traslado o el proceso de descarga. Inspeccionar que no haya humedad al interior. Si hay humedad, se sugiere secar o facilitar el secado (ver la recomendación práctica 3.6.4) antes de cubrir.
	3- Mantener los paneles separados del terreno para protegerlos de la humedad. Para esto, se pueden utilizar soportes cuya distancia de elevación mínima es especificada por el fabricante y dependerá de las condiciones del terreno.
	4- Mantener los paneles separados entre sí para garantizar una buena circulación de aire entre ellos facilitando la ventilación y el secado, evitando la condensación por humedad.
	5- Mantener los separadores espaciados de forma regular para una buena distribución de la carga por peso propio y evitar aplastamientos.
	6- Proteger los bordes del panel del aplastamiento por el uso de amarras.
	7- Tener en cuenta las irregularidades del terreno y la pendiente máxima.
	8- Evitar el almacenamiento prolongado de los paneles de CLT en obra, ya que aumenta la probabilidad de daño por riesgos climáticos.

Fuentes:

- [1] Binderholz (n.d.)
- [2] FPI Innovations (2019)
- [3] Hilam (n.d.)
- [4] SmartLam (2020)
- [5] Swedish Wood (2022)
- [6] Waugh Thistleton Architects (2018)



CAPÍTULO 4

MONTAJE

En este capítulo, se presentan las consideraciones para el diseño de montaje en obra de estructuras de paneles CLT, entre las que se cuentan: los sistemas de protección climática, el diseño de izaje y aspectos generales de la etapa de ensamblaje.

Es importante mencionar que es criterio del projectista definir el nivel de detalle que incluye en las instrucciones de montaje. Sin embargo, a mayor detalle, mejor será el traspaso de información respecto a la ejecución y secuencia de los procesos, disminuyendo la cantidad de supuestos constructivos en obra, posibles accidentes, tiempo de ejecución y costos asociados. Esto implica que las instrucciones de montaje tienen el potencial de traducirse en obras más eficientes y económicas, a expensas de mayor tiempo requerido en la planificación y realización de documentos, tales como instrucciones y planos de izaje, procedimientos y secuencia de montaje, instrucciones de ensamblaje, entre

otros. Para más información respecto a este tipo de documentación, se recomienda revisar el Anexo de este manual, donde en la Tabla 5.1 se incluye un listado de documentación mínima recomendada para facilitar y estandarizar los procesos en las etapas de transporte y montaje.

4.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CLIMÁTICA EN OBRA

Los paneles CLT son vulnerables a los daños causados por la humedad debido a la naturaleza de su composición con piezas de madera y sus cualidades higroscópicas y de permeabilidad, siendo mayor en la dirección longitudinal de estas y por ende, mayor en las caras menores (o cantos) de los paneles de CLT. Por otra parte, la absorción de agua a través de las caras mayores es más lenta debido a que la permeabilidad en dirección transversal a la fibra es menor a la longitudinal, pero se producirá de igual forma cuando se exponga a una humedad prolongada. El secado en obra de CLT es posible mediante medios naturales y/o mecánicos, aunque puede retrasar los plazos de construcción y añadir gastos innecesarios (FPIinnovations, 2019).

Debido a que los paneles que conforman la estructura de la edificación son de madera, un material sensible a los cambios de humedad, cambios de temperatura bruscos y radiación directa del sol, es de suma importancia proteger los elementos durante las etapas de transporte, acopio y montaje (Swedish Wood, 2022). Los sistemas de protección climática para el traslado y almacenaje de paneles CLT en obra se encuentran en las secciones 3.1.3 y 3.2.2 respectivamente. Mientras que los sistemas de protección climática durante la etapa de montaje se describen a continuación. Cabe mencionar que estos se dividen en dos categorías principales: (1) los **elementos de protección directa** y (2) las **estructuras de cubierta**. En la Figura 4.1 se puede observar un esquema sintetizado de los sistemas de protección climática más utilizados en construcción industrializada.

Cabe destacar que no se recomienda realizar el proceso de montaje (izaje y ensamblaje) en condi-

ciones climáticas adversas. Esta medida se sugiere tanto por la integridad de los paneles de CLT, como por la seguridad de los trabajadores. En consecuencia, es preferible planificar la ejecución de la etapa de montaje para las temporadas secas y evitar la acumulación de agua (Swedish Wood, 2022). En caso de tener una obra en ejecución bajo condiciones climáticas adversas, se recomienda pausar las actividades vulnerables a las condiciones climáticas, proteger y secar antes de reanudar en caso de que sea necesario o utilizar estructuras de cubierta para darle continuidad al proceso constructivo.

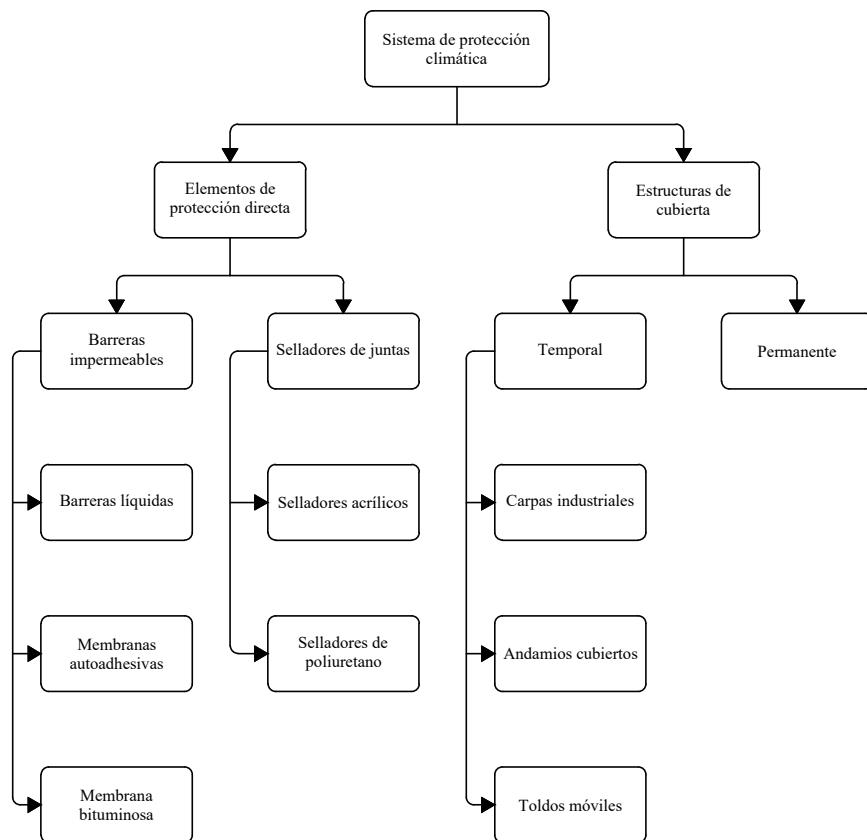


Figura 4.1 – Sistemas de protección climática (elaboración propia).

4.1.1 Elementos de protección directa

Los elementos de protección directa consisten en productos repelentes al agua que protegen toda la envolvente del panel o localmente la cara menor. Deben ser aplicados idealmente en fábrica y solo en caso de que esto no sea posible, pueden aplicarse en obra. Entre estos productos se encuentran: (1) barreras impermeables y (2) selladores de juntas (Binderholz, n.d.) (Rothoblaas, 2017).

4.1.1.1 Barreras impermeables

Dentro de esta categoría existen tres tipos principales disponibles en el mercado: (1) barreras líqui-

das, las cuales se aplican como una capa continua que ofrece una homogénea impermeabilización y adherencia; (2) membranas autoadhesivas, las cuales se adhieren a diversas superficies, son fáciles de instalar y resistentes a la intemperie; y, (3) membranas bituminosas, las cuales requieren calor para su aplicación. Estas últimas son las más tradicionales.

4.1.1.2 Selladores de juntas

Con respecto a los selladores de juntas existen de dos tipos: (1) acrílicos y (2) de poliuretano. Los selladores acrílicos son flexibles y resistentes a los rayos UV, utilizados principalmente para las

juntas de dilatación. Mientras que los selladores de poliuretano son más idóneos para las juntas expuestas a condiciones extremas debido a su alta resistencia y durabilidad.

4.1.2 Estructuras de cubierta

Otra alternativa de protección climática es utilizar una estructura que cubra la edificación completa o una parte de ella durante la etapa de montaje y de esta manera generar una barrera contra las condiciones climáticas. A estas barreras de protección climática se les llama estructuras de cubierta y se utilizan para cubrir grandes áreas a diferencia de los elementos de protección directa. Además, permite continuar con el avance de ensamblaje o terminaciones en las zonas cubiertas. Las estruc-

turas de cubierta pueden ser de modalidad: (1) temporal o (2) permanente.

4.1.2.1 Temporal

Una estructura de cubierta temporal corresponde a una carpa exterior, que se construye para la etapa de montaje en sitio y es retirada una vez concluida la obra. Los tres tipos más comunes son: (1) carpas industriales, de gran tamaño y versátiles, que se adaptan a diferentes necesidades y proyectos; (2) andamios cubiertos, permiten trabajar en altura y protegen tanto paneles como a los trabajadores; y (3) toldos móviles, los cuales ofrecen una protección parcial y flexible para áreas específicas (Swedish Wood, 2022). La Figura 4.2 ilustra la alternativa de carpa industrial.

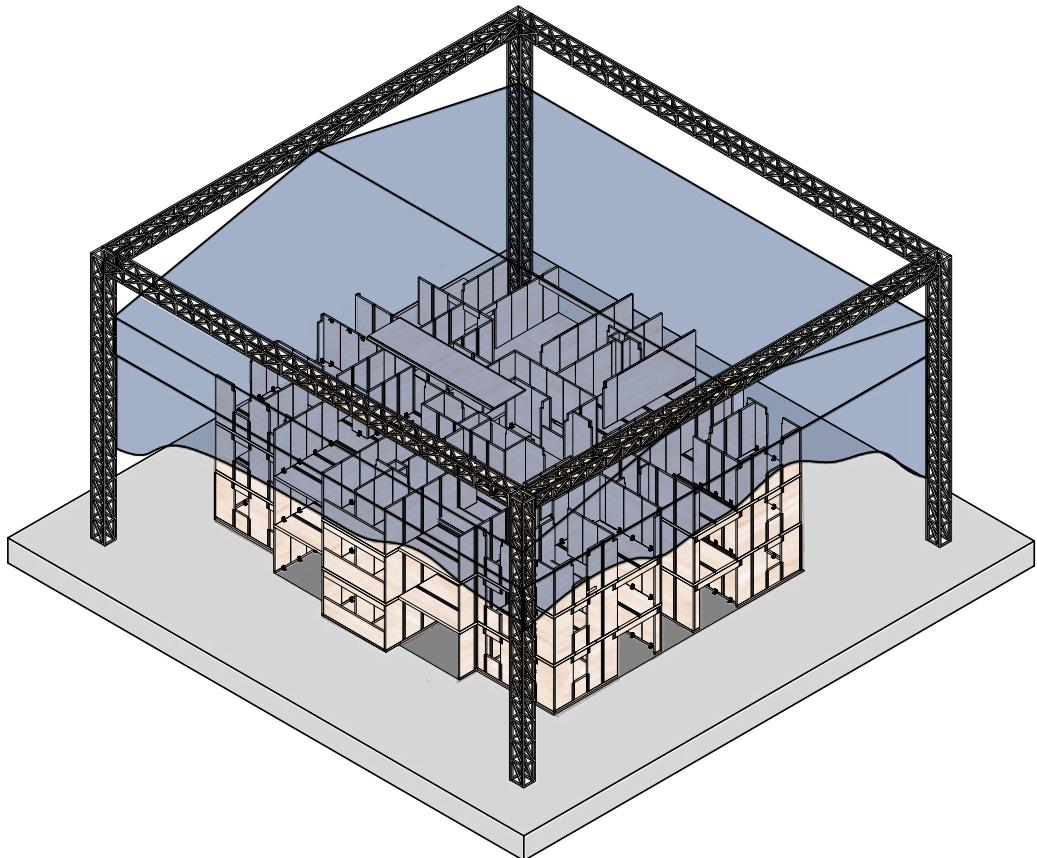


Figura 4.2 – Carpa industrial como estructura de cubierta temporal.

4.1.2.2 Permanente

Por otro lado, la estructura de cubierta permanente utiliza la estructura del piso superior de la propia edificación para cubrir la zona de montaje, tal como se observa en la Figura 4.3. Este sistema de protección climática es propio del método constructivo balloon o sistemas mixtos de marcos con losas de CLT. Cabe mencionar que la estructura del piso superior debe ser igualmente protegida por elementos de protección directa a menos que esta corresponda a la techumbre y/o sea de un material impermeable, (como cubiertas metálicas), con membrana impermeable tensada u otros similares.

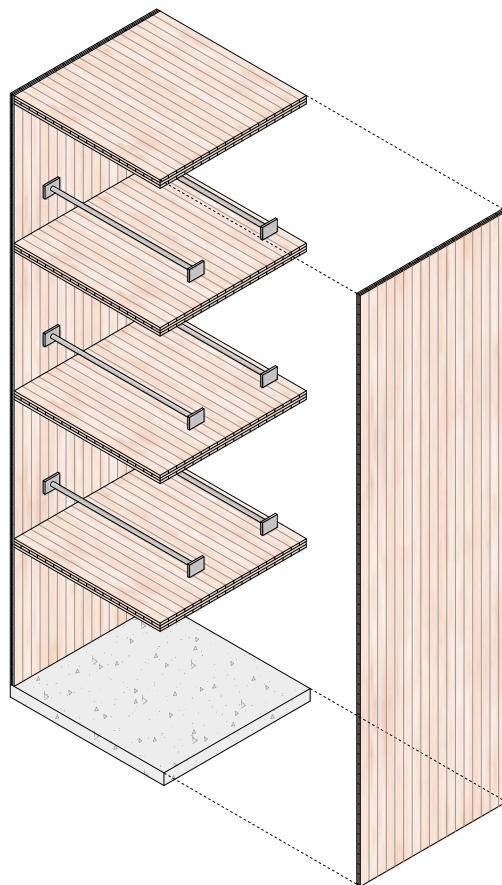


Figura 4.3 – Estructura de cubierta permanente.

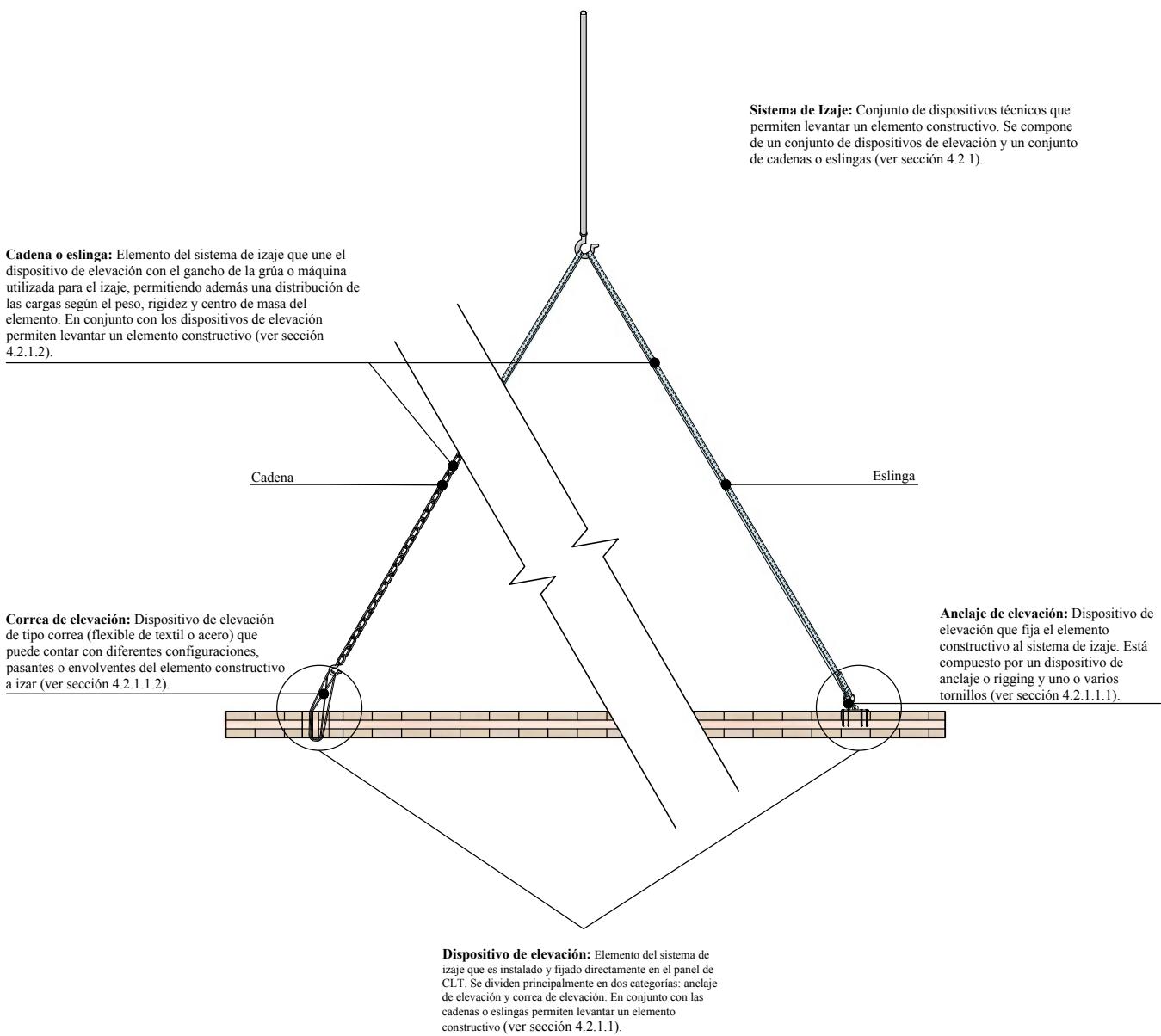
4.2 IZAJE

El sistema de izaje y su maquinaria correspondiente dependen de múltiples factores, entre ellos las dimensiones y peso máximo de los elementos que requieren ser elevados, así como el espacio disponible en obra. Este último condiciona el tipo de grúa (si esta es fija o

móvil), el tamaño de su brazo y su ubicación en terreno, delimitada a su vez por la distancia entre la estructura y el sector de acopio de los elementos, entre otros aspectos.

En el esquema 4.1 se incluyen definiciones de conceptos relevantes que se utilizan en el presente capítulo de montaje con el fin de facilitar la lectura de las siguientes secciones.

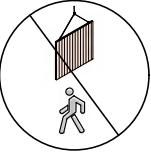
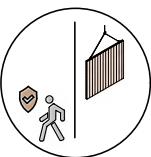
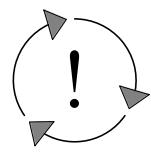
Esquema 4.1 – Conceptos relevantes para la comprensión del izaje (elaboración propia).

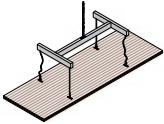
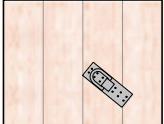
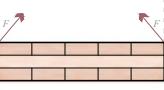
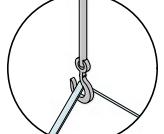
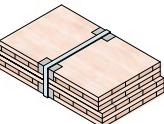
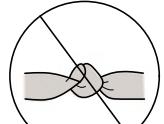


La planificación del proceso de izaje es fundamental para garantizar la productividad, eficiencia y seguridad de la etapa de montaje. Entre los pasos críticos se encuentran: (1) determinar la fuerza por dispositivo de elevación basada en el peso de los elementos y las características del *rigging*; y (2) escoger el sistema de izaje apropiado de acuerdo con el cálculo de la fuerza, la cantidad de ciclos de elevación requeridos y los dispositivos de elevación disponibles en el mercado.

Sumado a lo anterior, es importante especificar la secuencia del levantamiento de los paneles, lo que incluye: instrucciones detalladas de izaje, protocolos de procedimientos específicos para cada elemento, indicaciones de manipulación y maquinaria, entre otros (Swedish Wood, 2022). En las Recomendaciones prácticas 4.1, se indican algunas de las consideraciones más relevantes para la seguridad de los trabajadores y la integridad de los materiales.

**Recomendaciones prácticas 4.1 – Proceso de izaje
(elaboración propia basada en [1] [2] [3] [4] [5] [6]).**

	<p>1- Evitar el izaje de paneles en condiciones climáticas adversas (como lluvia, viento fuerte, nieve o temperaturas extremas) que puedan afectar la seguridad del proceso de izaje.</p>
	<p>2- Contar con un plan de emergencia y equipos necesarios en caso de cualquier incidente durante la etapa de izaje.</p>
	<p>3- Seguir estrictamente las especificaciones e instrucciones de los fabricantes de los paneles y del equipo y dispositivos de elevación.</p>
	<p>4- Asegurarse de que solo personal autorizado y capacitado realice el izaje y la manipulación de los paneles.</p>
	<p>5- Delimitar áreas de trabajo y asegurarse de que no haya personas ajenas a la actividad debajo de una carga en suspensión en ningún momento.</p>
	<p>6- El trabajador encargado de colocar las eslingas o cadenas y el trabajador encargado de sujetar los cabos de viento deben ubicarse en una posición segura, fuera de la trayectoria entre la carga a levantar y la ubicación en que se monta, para reducir riesgos de accidentes en caso de inestabilidad de la carga o manejo incorrecto durante el izaje.</p>
	<p>7- Realizar una inspección visual antes de cada maniobra para identificar y descartar componentes que presenten signos de daño o desgaste. Tales como desgastes por fricción en elementos textiles, deformaciones plásticas o fisuras en elementos metálicos, corrosión en superficies críticas y posibles desgastes o pérdidas de funcionalidad en los mecanismos de izaje. Además, verificar que todos los dispositivos de seguridad estén operativos y libres de daños que puedan comprometer su eficacia.</p>
	<p>8- Respetar el número de ciclos de elevación de cada componente del sistema de izaje. Para esto se sugiere implementar un registro de uso en cartillas (u otro similar) como mecanismo de control.</p>
	<p>9- Verificar que el peso de cada elemento no supere el límite máximo indicado según su sistema de izaje.</p>

	<p>10- Garantizar que la carga esté distribuida de manera uniforme sobre las eslingas para evitar concentraciones de tensión que puedan dañar los paneles.</p>
	<p>11- Considerar la orientación de los dispositivos de elevación procurando que estos se encuentren correctamente alineados a las eslingas.</p>
	<p>12- Identificar el centro de gravedad del panel y alinearlo al gancho de la grúa previo al izaje para mantener la estabilidad y evitar oscilaciones o rotaciones.</p>
	<p>13- Considerar el estado de carga del panel al momento de ser izado, ya que sus condiciones de apoyo serán diferentes a cuando esté instalado, por lo que se debe verificar que el panel mantenga su integridad.</p>
	<p>14- Comprobar que todas las eslingas estén correctamente aseguradas con dispositivos de seguridad adecuados, tales como ganchos, mosquetones, grilletes y similares, para prevenir deslizamientos o desconexiones inesperadas.</p>
	<p>15- Mantener un ángulo de inclinación apropiado en las eslingas y evitar que rocen con elementos afilados que puedan dañarlas.</p>
	<p>16- Proteger los bordes de los paneles durante su izaje para evitar aplastamientos en la madera. Además, no se recomienda utilizar cadenas o eslingas para amarrar directamente el panel para su izaje, en cuyo caso se sugiere utilizar la correa de elevación adecuada.</p>
	<p>17- Asegurarse que cadenas, eslingas y correas no tengan nudos.</p>

Fuentes:

- [1] Binderholz (n.d.)
- [2] FPI Innovations (2019)
- [3] Rothoblaas (2020)
- [4] Simpson Strong-Tie (2024)
- [5] Swedish Wood (2022)
- [6] Waugh Thistleton Architects (2018)

4.2.1 Sistemas de izaje

Un sistema de izaje es el conjunto de herramientas que permiten levantar un elemento constructivo. Se compone por un dispositivo de elevación, el cual es instalado y fijado directamente en el panel CLT, y una cadena o eslinga que une el dispositivo de elevación con el gancho de la grúa o máquina utilizada para el izaje. En la Figura 4.4 se puede observar una ilustración representativa a modo de ejemplo. Cabe mencionar que estos componentes del sistema de izaje serán clasificados y descritos en este manual con nombres genéricos (no según su denominación comercial). Sin embargo, se han sintetizado y agrupado los principales dispositivos de elevación y cadenas o eslingas utilizadas en Chile, como son los fabricados por: MTC Solutions (2024), Rothoblaas (2020), Simpson Strong-Tie (2024).

4.2.1.1 Dispositivos de elevación

Existen diferentes alternativas de dispositivos de elevación en el mercado. En la Figura 4.5 se ilustran los más comunes, los cuales se dividen principalmente en dos categorías: (1) anclaje de elevación y (2) correas de elevación.

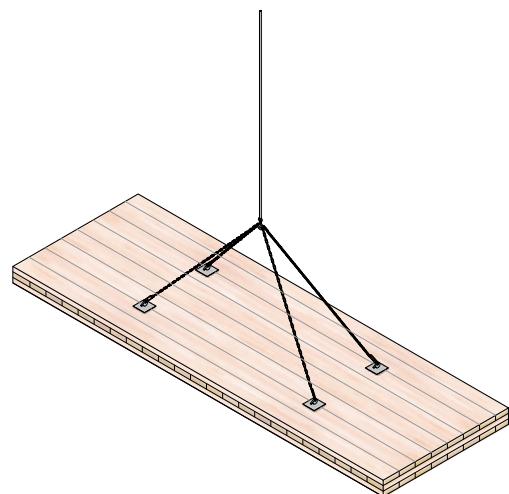


Figura 4.4 - Ilustración representativa de un sistema de izaje.

Los primeros se diferencian de los segundos debido a que se conectan al panel mediante un conector mecánico de acero. Cabe mencionar que cada una de estas categorías se subdivide en diferentes tipos, los cuales serán clasificados y descritos en este manual independiente de su nombre comercial.

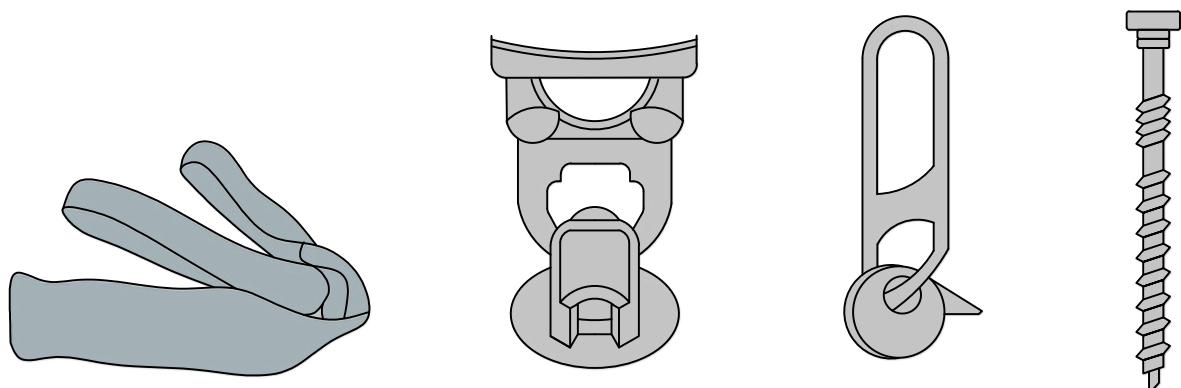


Figura 4.5 - Dispositivos de elevación más comunes.

4.2.1.1 Anclaje de elevación

Este sistema de izaje se conecta al panel de CLT mediante un conector mecánico de acero que transmite un esfuerzo principalmente de corte. Se compone de dos partes independientes, un rigging reutilizable y uno o varios tornillos generalmente desechables. En la Figura 4.6 se ilustran estos elementos y en la Tabla 4.2 se indican los rigging más comunes en el mercado chileno. Posteriormente, se describen las consideraciones especiales de los rigging Tipo 1 y 3. Cabe mencionar que todos estos rigging permiten el izaje del panel en forma horizontal y vertical, y que deben estar correctamente orientados en la dirección de la eslinga.

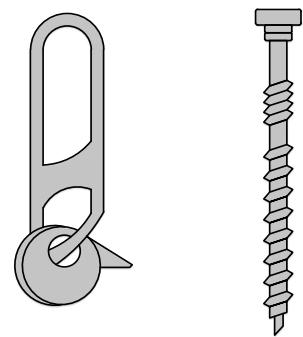


Figura 4.6 - Elementos del anclaje de elevación.

TABLA 4.2 – Tipos de rigging del anclaje de elevación (elaboración propia basada en MTC Solutions (2024), Rothoblaas (2022), Simpson Strong-Tie (2024)).

Nombre	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
<i>Rigging</i>			
Ejemplos de productos comerciales ¹	Transport Anchor, MTLD, WASP	Yoke 1T, Yoke 5T	Yoke XL, MTHLD6, Raptor
Forma de instalación ²	En la cara mayor del panel	En la cara mayor del panel	En la cara mayor y menor del panel
Forma de izaje del panel	Horizontal y vertical	Horizontal y vertical	Horizontal y vertical
Rango aproximado de capacidad ³	550 - 1600 kg	850 – 1900 kg	550 - 4200 kg
Formas de instalar el tornillo	Perpendicular o inclinado	Perpendicular	Perpendicular
Grados de libertad del rigging atornillado	2 grados de libertad debido a que no posee placa de fijación	Solo 1 grado de libertad debido a su placa de fijación	Solo 1 grado de libertad debido a su placa de fijación
Desenganchable ⁴	Sí	No	No

Nota 1: Estos productos comerciales no son exclusivos y la clasificación es válida para cualquier otro dispositivo de elevación equivalente.

Nota 2: Se deben respetar siempre los espaciamientos mínimos indicados por el fabricante los cuales dependen de su forma de instalación e izaje. Como ejemplo ver Tabla 4.3.

Nota 3: Los rangos de capacidad son solo referenciales y siempre se debe consultar la capacidad con el fabricante del dispositivo de elevación escogido.

Nota 4: Permite la extracción del rigging sin extraer necesariamente el tornillo.

I. Rigging Tipo 1

El *rigging* Tipo 1 es el más utilizado para el izaje de paneles debido a su costo y disponibilidad comercial. Sin embargo, al no tener una placa asociada, se deben tener presentes varias consideraciones respecto a la instalación de los tornillos y la orientación del *rigging*.

En primer lugar, los tornillos se pueden instalar de forma perpendicular o inclinada con respecto a la cara mayor del panel, tal como se observa en la Figura 4.7 y Figura 4.8 respectivamente. La instalación perpendicular se subdivide en instalación con o sin fresado (Figura 4.9), la cual depende de la terminación arquitectónica del panel.

Cabe mencionar que la instalación perpendicular del tornillo permite la elevación del panel con el

rigging posicionado de forma perpendicular o inclinado; mientras que la instalación inclinada solo permite posicionar el *rigging* en el mismo ángulo que el tornillo, es decir, tornillo, *rigging* y eslinga deben tener el mismo ángulo. Por lo tanto, es necesario realizar a priori el cálculo del ángulo de inclinación β^3 .

En segundo lugar, independiente de la instalación del tornillo (perpendicular o inclinada), el *rigging* Tipo 1 debe ser correctamente instalado según las especificaciones del fabricante. Esto debido a que, como no posee una placa asociada, tiene un grado de libertad rotacional adicional en comparación a los *rigging* Tipo 2 y 3. A modo de ejemplo, ver Figura 4.10. Además, la pieza de apoyo que presenta debe ser orientada hacia el interior del panel para asegurar su correcto funcionamiento.

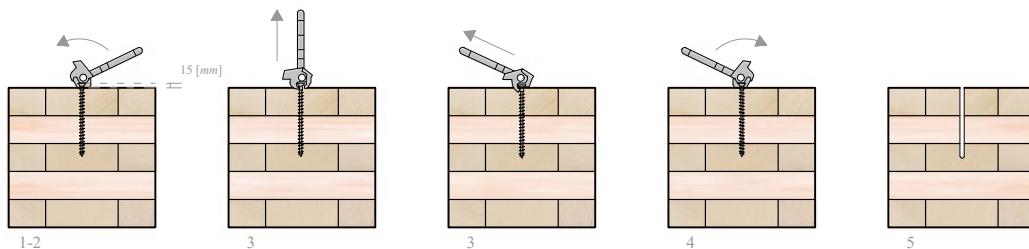


Figura 4.7 - Instalación perpendicular del tornillo en rigging Tipo 1.

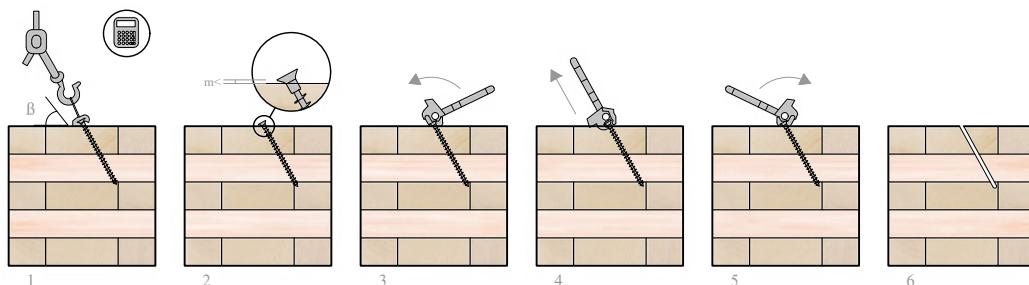


Figura 4.8 - Instalación inclinada del tornillo en rigging Tipo 1.

3. Ver sección 4.2.3.4

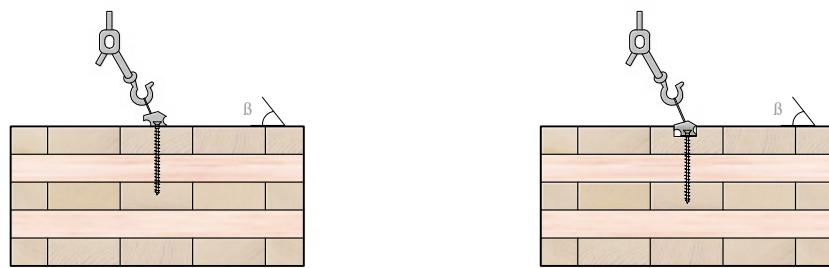


Figura 4.9- Instalación perpendicular con o sin fresado del rigging Tipo 1.

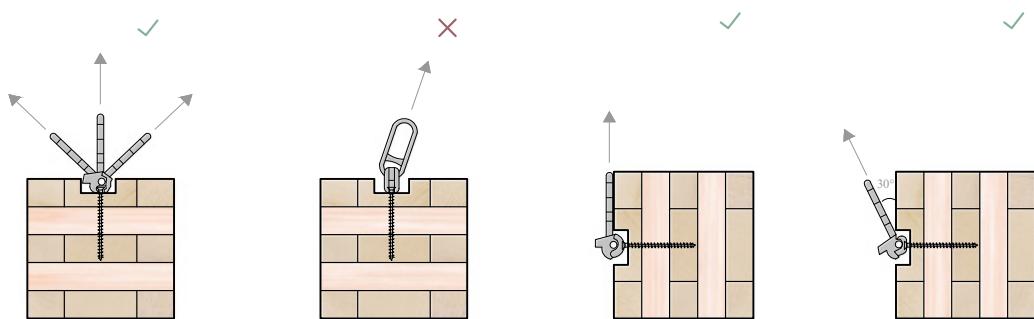


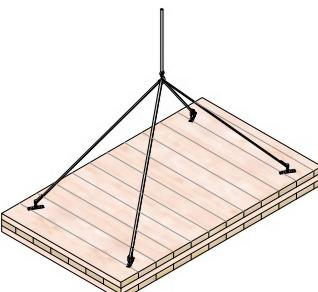
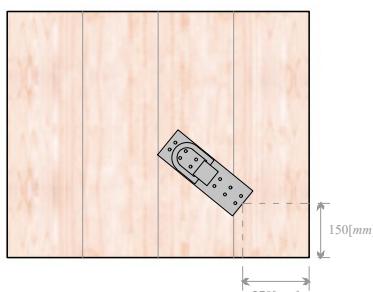
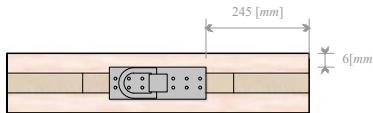
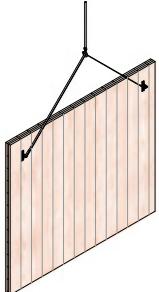
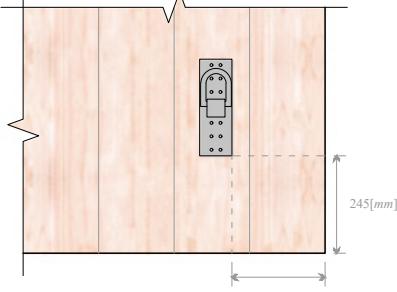
Figura 4.9- Instalación perpendicular con o sin fresado del rigging Tipo 1.

Por último, los *rigging* Tipo 1 a diferencia de los otros, permiten la extracción del *rigging* sin extraer necesariamente el tornillo (es desenganchable). En consecuencia, la extracción del tornillo es opcional. Si se extrae el conector y el agujero queda expuesto, se debe considerar el sellado o relleno de mismo (Swedish Wood, 2022). Mientras que, en el caso contrario, se recomienda proteger el tornillo expuesto. Si no se toman estas medidas, se pueden generar puentes térmicos, falta de hermeticidad y problemas de durabilidad, acústicos o asociados al fuego. Para más información consultar la Guía de diseño y especificaciones de CLT.

II. Rigging Tipo 3

La instalación del anclaje de elevación siempre debe cumplir con las distancias mínimas y forma correcta de instalación especificadas por el fabricante. En particular, el *rigging* Tipo 3, puede ser instalado en la cara mayor y menor del panel permitiendo tres formas de izaje: (1) horizontal en la cara mayor del panel, (2) vertical en la cara menor; o, (3) vertical en la cara mayor. Para cada una de estas formas requerirá diferentes espaciamientos mínimos de borde, tal como se indica en la Tabla 4.3.

TABLA 4.3 – Formas de instalación e izaje del *rigging* Tipo 3 y sus espaciamientos mínimos de borde (elaboración propia basada en MTC Solutions (2024)).

	Forma de instalación e izaje	Espaciamientos mínimos de borde
Horizontal - cara mayor		
Vertical - cara menor		
Vertical - cara mayor		

III. Otros dispositivos de anclaje de elevación

Finalmente, se debe mencionar que existen otros dispositivos de anclaje de elevación menos comunes. Uno de ellos es el anclaje de elevación por fricción insertado el cual se puede observar en la Figura 4.11. Este utiliza un sistema de perforación en la cara mayor del panel donde se inserta la parte inferior del anclaje de forma cerrada. Una vez que se somete a la fuerza de levantamiento, se expande la parte inferior generando una fricción interior en el CLT (ver Figura 4.12). Cabe mencionar que este tipo de anclaje de elevación solo permite una forma de izaje del panel horizontal (FPIInnovations, 2019).

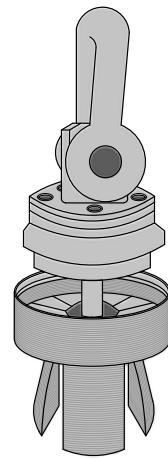


Figura 4.11 - Anclaje de elevación por fricción insertado.

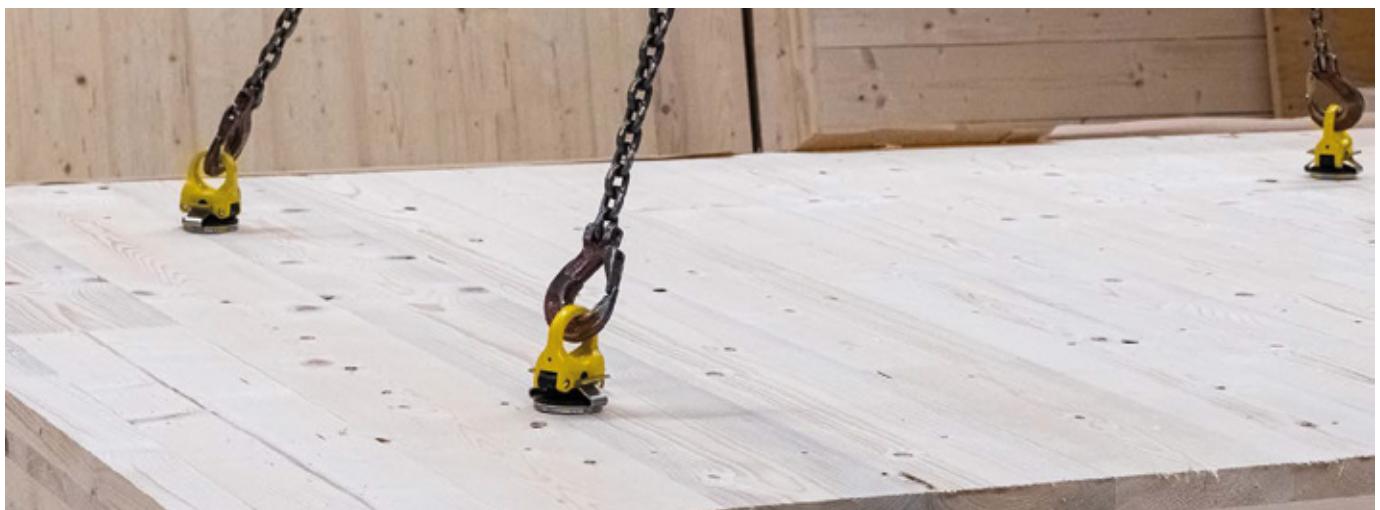


Figura 4.12 - Forma de instalación e izaje del anclaje de elevación por fricción insertado.

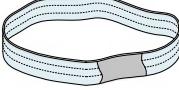
Fuente: Pitzl Connectors en <https://www.pitzl-connectors.com>

4.2.1.1.2 Correa de elevación

Existen diferentes tipos de correas de elevación en el mercado. En la Tabla 4.4 se presentan las más comunes y a continuación se describen consideraciones especiales de las correas de elevación Tipo 1 y Tipo 3. Esto debido a que ambas tienen más de una forma de

instalación para el izaje del panel, a diferencia de las correas Tipo 2 que solo se pueden instalar en la cara mayor del CLT para su elevación horizontal, tal como se observa en la Figura 4.13. Con respecto a la correa de elevación Tipo 3 es de suma importancia no confundirla con las cadenas o eslingas descritas en 4.2.1.2.

TABLA 4.4 – Tipos de correas de elevación (elaboración propia basada en Rothoblaas (2020) y Binderholz (n.d.)).

Nombre	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Correa de elevación			
Ejemplos de productos comerciales ¹	Lazo de elevación, Mantis	Octopus, Dragon	Viper
Uso ²	Desechable	Desechable/Reusable	Reusable
Forma de instalación	Variada ³	En la cara mayor del panel	Variada ⁴
Forma de izaje del panel	Horizontal y vertical	Horizontal	Horizontal
Capacidad ⁵	800 - 1000 - 2000 kg	500 - 1200 - 2000 kg	800 - 1000 - 2000 kg
Requiere perforación previa	Sí	Sí	No
Tipo de perforación	Pasante y no pasante	Pasante	No aplica
Requiere protección por aplastamiento de la cara menor	No	No	Sí

Nota 1: Estos productos comerciales no son exclusivos y la clasificación es válida para cualquier otro dispositivo de elevación equivalente.

Nota 2: Se refiere al uso respecto a los ciclos de elevación (ver sección 4.2.2).

Nota 3: Ver detalle en la subsección Correa de elevación Tipo 1.

Nota 4: Ver sección detalle en la subsección Correa de elevación Tipo 3.

Nota 5: Los rangos de capacidad son solo referenciales y siempre se debe consultar la capacidad con el fabricante del dispositivo de elevación escogido.

Consejo 4.1

Procurar que las correas no rocen con bordes o elementos afilados, ni que presenten nudos al momento de izar.

I. Correa de elevación Tipo 1

Una de las principales consideraciones de este tipo de dispositivo de elevación es que se puede instalar de variadas formas para iar un panel de CLT. Además, permite el levantamiento del panel de forma vertical y horizontal, con perforación pasante o no en caso de que se requiera una de las caras a la vista. Pese a su versatilidad, se debe recordar que su uso es desechable. A continuación, se describen sus formas de instalación (Binderholz, n.d.):

a) Izaje vertical tipo eslingado

Corresponde a un sistema de levantamiento vertical del panel como se observa en la Figura 4.14. Su aplicación es para paneles con ninguna de sus caras mayores a la vista. Tiene una capacidad específica por cada correa de elevación si cumple con el diseño y especificaciones del fabricante.

b) Izaje vertical tipo paralelo

Este sistema es muy parecido al anterior, sin embargo, la correa de elevación se encuentra “puesta por encima” o en “paralelo” (ver Figura 4.15). Su aplicación también es para paneles con caras mayores no visibles pero, a diferencia del izaje vertical tipo eslingado, puede llegar a una capacidad mayor por cada correa de elevación si cumple con el diseño y especificaciones del fabricante.

c) Izaje vertical u horizontal tipo perno/espiga

A diferencia de los dos anteriores, este tipo de instalación no es pasante, permitiendo la visibilidad de una de las caras mayores del panel, tal como se indica en la Figura 4.16. Además, se emplea para levantamiento vertical u horizontal del panel (ver Figura 4.16 y Figura 4.17 respectivamente). Su capacidad por cada correa de elevación es

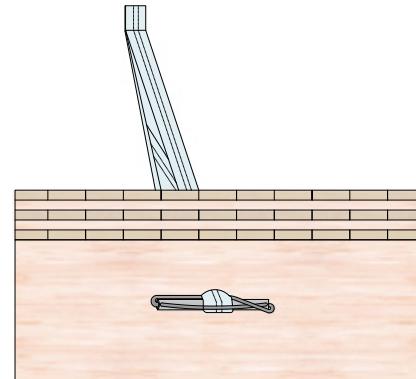


Figura 4.13 - Forma de instalación e izaje de la correa de elevación Tipo 2.

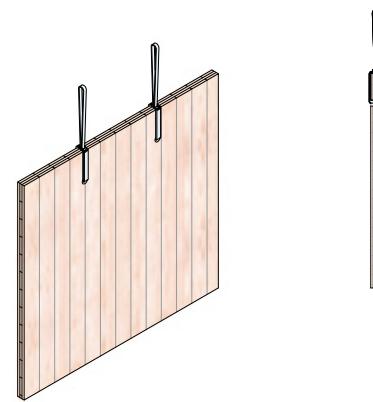


Figura 4.14 - Izaje vertical tipo eslingado de la correa de elevación Tipo 1.

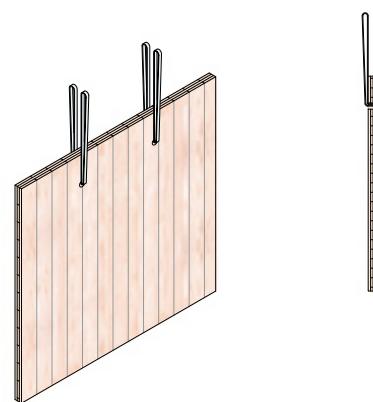


Figura 4.15- Izaje vertical tipo paralelo de la correa de elevación Tipo 1.

generalmente mayor a la del izaje vertical tipo esligando y menor a la del izaje vertical tipo paralelo. El espesor mínimo del panel y la ubicación de la perforación de la espiga se deben consultar según las especificaciones del fabricante.

d) **Izaje horizontal tipo doble orificio**

Otra manera de izaje horizontal del panel corresponde al tipo doble orificio. Como se observa en la Figura 4.18 esta instalación de la correa es pasante y una alternativa de levantamiento horizontal al izaje vertical tipo paralelo, por lo que puede llegar a una capacidad similar por cada correa de elevación si cumple con el diseño y especificaciones del fabricante.

II. Correa de elevación Tipo 3

En la jerga popular es llamada eslinga, pero no se debe confundir con las cadenas o eslingas descritas en la sección 4.2.1.2, las cuales unen los anclajes o correas de elevación con el gancho de la grúa. Izar los paneles con la correa de elevación tipo 3 sin el uso debido de cadenas o eslingas se considera una mala práctica, ya que los elementos podrían deslizar o inclinarse debido a excentricidades. Además, es importante mencionar que este tipo de correa de elevación requiere protección contra aplastamiento de la cara menor debido a su forma de instalación, la cual se puede observar en la Figura 4.19, Figura 4.20 y Figura 4.21, en las que se presenta el izaje horizontal de un panel de CLT, el izaje de un paquete de paneles y el levantamiento de un paquete con correas de elevación premontadas, respectivamente (Binderholz, n.d.).

4.2.1.2 Cadenas, eslingas y cables de acero

Tal como se mencionó al inicio de la sección 4.2.1, las cadenas o eslingas unen el dispositivo de elevación con el gancho de la grúa o máquina utilizada para el izaje. Si bien cadenas y eslingas son sustitutos que cumplen la misma función de un elemento cuerda en tracción, es preciso diferenciarlas entre ellas, principalmente por la opción que permiten las cadenas de compensar la distribución de fuerzas acortando el largo utilizando los mismos eslabones⁴. En la Figura 4.22 se puede observar

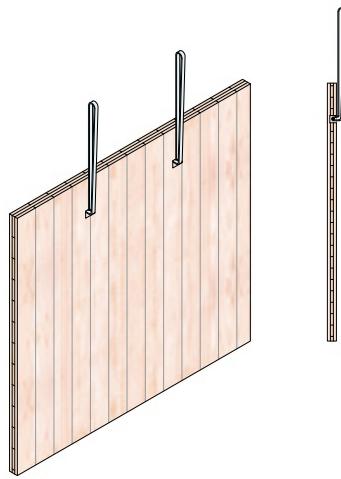


Figura 4.16 - Izaje vertical tipo perno/espiga de la correa de elevación Tipo 1.

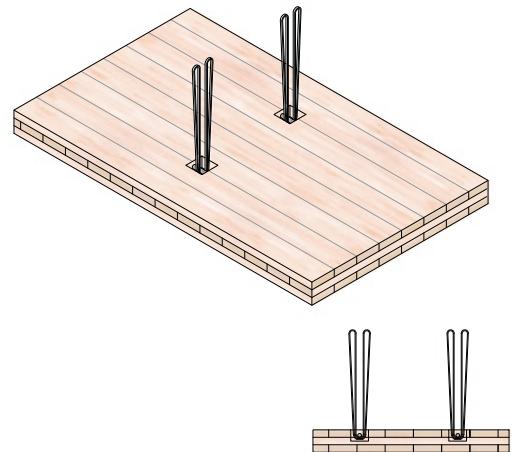


Figura 4.17 - Izaje horizontal tipo perno/espiga de la correa de elevación Tipo 1.

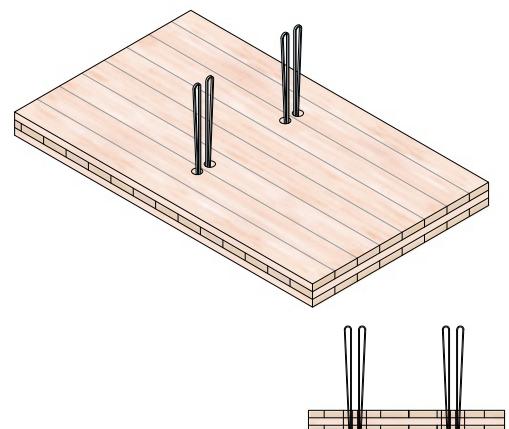


Figura 4.18 - Izaje horizontal tipo doble orificio.

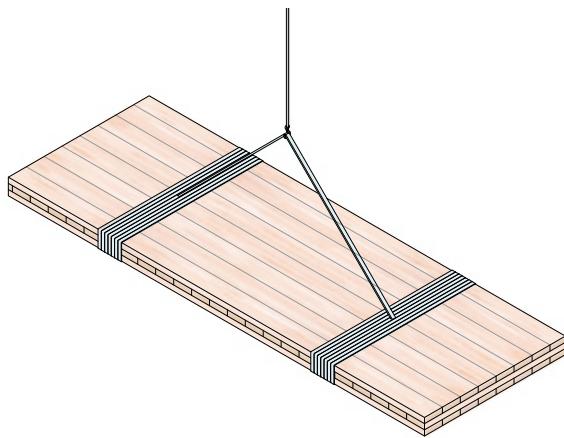


Figura 4.19 - Izaje horizontal de un panel CLT con correas de elevación Tipo 3.

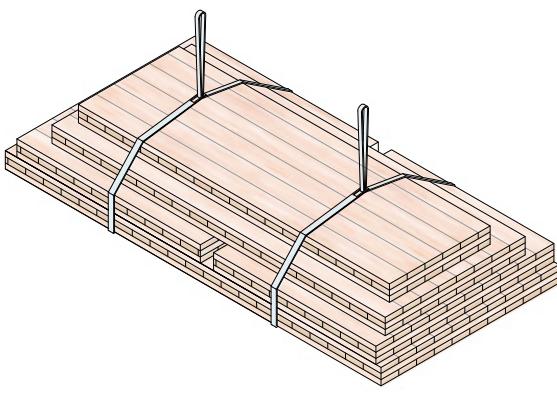


Figura 4.20 - Izaje horizontal de un paquete de paneles CLT con correas de elevación Tipo 3.

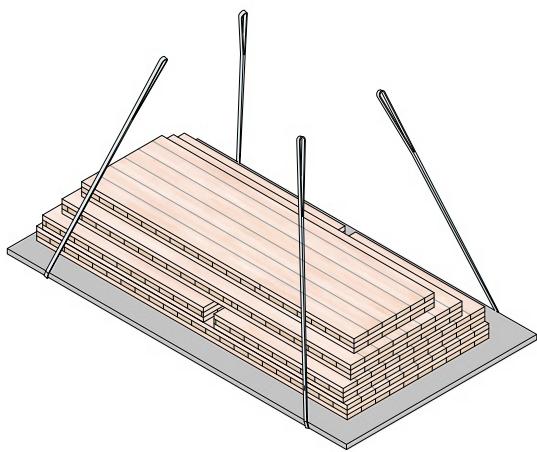


Figura 4.21 - Izaje horizontal de un paquete de paneles CLT con correas de elevación Tipo 3 premontada.

una eslinga de montaje, mientras que en la Figura 4.23 se indica un conjunto de cadenas unidas a dispositivos de elevación tipo anclaje. Los cables con alma de acero (AA) son otro producto sustituto para la misma función⁵.

Es frecuente estos elementos de izaje se utilicen con dispositivos auxiliares para su correcto funcionamiento, como son: grilletes (Lira o equivalentes), grampas (Crosby o equivalentes), dispositivos tensores, entre otros que requiera la operación.

Para este tipo de elementos lo más importante es verificar el largo, ángulo y número efectivo de eslingas o cadenas utilizadas para el izaje. En breves cuentas, el largo excesivo y ángulos inadecuados se evitan para reducir inestabilidades no deseadas que pueden producir rotación o deslizamiento del panel o de la carga.

La capacidad de carga de las eslingas o correas, es informada por el fabricante, respaldada mediante ensayos que incorporan factores de seguridad y protocolos de certificación. En Chile, los productos de Bekaert o Prodinsa, que son ampliamente utilizados y que cuentan con catálogos con variadas soluciones, permiten obtener los datos necesarios para que el proyectista o el encargado del proceso de izaje tome una decisión informada.

Previo a la maniobra de izaje, se debe asegurar que las eslingas o cadenas no tengan nudos, que no rocen con bordes afilados y que se encuentren bien sujetas al gancho de la grúa. Cabe advertir que un error bastante común (y bastante peligroso) es usar una sola eslinga por cada par de anclajes, haciendo lo que se conoce como "enhebrar". En estos casos, producto del tramo horizontal, la fuerza que llega al dispositivo de anclaje más cercano al gancho de la grúa se duplica, poniendo en riesgo la maniobra y seguridad de los montajistas.

4. En este manual se prefiere mencionar siempre ambas opciones, eslinga o cadena, en vez de agruparlas en un solo término.
5. Dado que en la práctica su uso y alternativas son similares a las de las eslingas, por brevedad se omiten los cables de acero en las menciones "eslinga o cadena" de este manual.

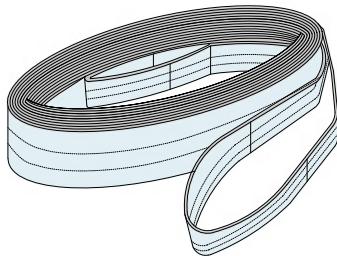


Figura 4.22 - Eslinga de montaje.

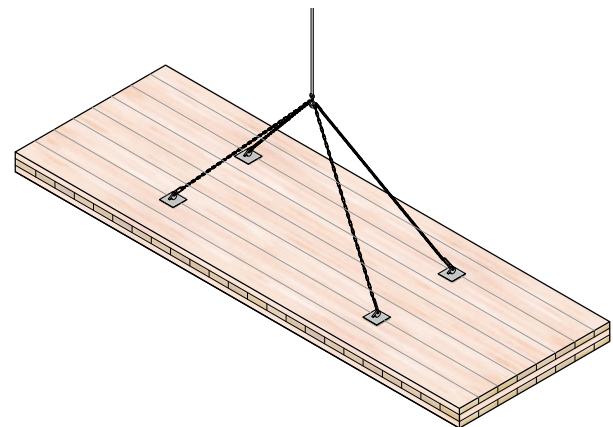


Figura 4.23 - Conjunto de cadenas unidas a anclajes de elevación.

4.2.2 Ciclos de elevación

Otra consideración relevante al momento de elegir el sistema de izaje es verificar la cantidad de veces que este se puede utilizar. La Tabla 4.5 clasifica la cantidad de usos que dispone un dispositivo de elevación, el cual puede ser de: (1) uso único, (2) uso múltiple o (3) uso limitado.

Es preciso mencionar que las partes que componen un sistema de izaje pueden tener distinta cantidad de usos. Generalmente, se define un ciclo de elevación como el conjunto de operaciones que comprende la instalación y fijación del sistema de izaje al panel desde fábrica, el cual puede ser izado inicialmente para ubicarlo en el camión y trasladarlo a terreno

donde se vuelve a izar para su despacho y colocación en su posición final (Rothoblaas, 2020). Por ejemplo, utilizar el sistema de izaje para ubicar el panel en un sector de acopio en altura puede ser considerado un ciclo de elevación y se debe consultar con el fabricante si se deberá reemplazar el dispositivo de elevación o eslinga para el izaje del panel en su ubicación final, en caso de que se indique como de uso único.

Para respetar el número de ciclos de elevación de cada componente del sistema de izaje, se sugiere implementar un registro de uso en cartillas (u otro similar) como mecanismo de control.

TABLA 4.5 – Cantidad de usos en dispositivos de elevación (elaboración propia basado en Rothoblaas (2020)).

Uso único	Uso múltiple	Uso limitado
Sólo se puede utilizar en un ciclo de elevación, luego debe ser desecharo.	Es reusable hasta que presente daños o signos de desgaste evidentes.	Es reusable una cierta cantidad de veces especificadas por el fabricante.

NOTA 1: Los elementos de uso único deben ser desecharados incluso cuando se vea aparentemente en buen estado. No se puede volver a utilizar ni en otros elementos ni para otras aplicaciones.

NOTA 2: Los daños o signos de desgaste evidentes se indican en las instrucciones de uso del fabricante.

NOTA 3: Cuando el dispositivo se encuentra almacenado y no es posible identificar cuántas veces se ha usado, este deberá ser igualmente desecharo.

4.2.3 Cálculo de la fuerza resultante

La selección del dispositivo de elevación adecuado se basa en la determinación de las fuerzas que debe resistir. Varios factores pueden afectar la magnitud de estas fuerzas, por lo que se recomienda seguir la secuencia de pasos que se describen a continuación para el cálculo de la fuerza resultante al momento de izar un panel de CLT. Es preciso señalar que estas consideraciones de diseño para el levantamiento provienen del Canadian CLT Handbook (FPInnovations, 2019).

4.2.3.1 Determinar el peso P y centro de gravedad

El primer paso consiste en determinar el peso total del elemento a elevar y la posición de su centro de gravedad. Esto debido a que se considera el peso total del panel del CLT como una carga puntual concentrada en su centro de gravedad. La ecuación (4.1) indica el cálculo del peso total de un panel de CLT (P), donde ρ_{12} es la densidad del elemento y V su volumen.

Con respecto a la densidad del panel de CLT cabe mencionar que, pese a que esta propiedad varía dependiendo de la especie de madera y su contenido de humedad, se recomienda utilizar la densidad especificada por el fabricante. En caso de que esta no se especifique, utilizar el valor medio de la densidad normal al 12% según la especie de la Tabla E.2 del Anexo E de la NCh1198 (INN, 2024), la que para el pino radiata se especifica como $478 \text{ [kg/m}^3\text{]}$. Mientras que el volumen se puede calcular según la expresión (4.2), donde L corresponde al largo del panel, b_{CLT} el ancho y t_{CLT} el espesor del total de capas, tal como se observa en la Figura 4.24.

$$(4.1) \quad P = \rho_{12} \times V$$

$$(4.2) \quad V = L \times b_{CLT} \times t_{CLT}$$

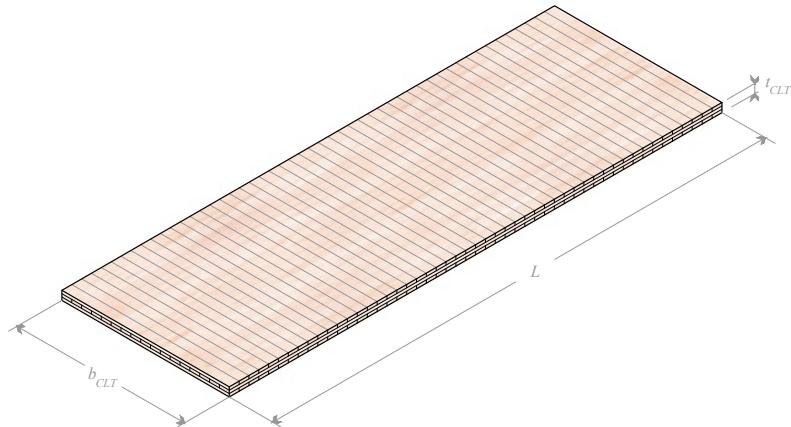


Figura 4.24 - Dimensiones para cálculo de peso de un panel CLT.

Consejo 4.2

Se recomienda que el peso total de cada panel de CLT se obtenga del fabricante, para una mayor exactitud frente a las variabilidades de densidad por humedad y origen de la madera.

Consejo 4.3

Pese a que la densidad de la madera es aproximadamente cinco veces menor que la densidad de los elementos prefabricados de hormigón, el peso total de los elementos de CLT puede ser considerable. Por tanto, estos deben ser manipulados con las herramientas y maquinaria adecuada. Nunca deben ser cargados directamente por un trabajador ya que esto puede causar lesiones o accidentes.

4.2.3.2 Determinar el factor de aceleración dinámica f

Es de suma importancia considerar las fuerzas dinámicas a las que están sometidos los paneles durante los procesos de elevación y manipulación. Estas dependen principalmente de: (1) el sistema elegido, (2) la velocidad de elevación y (3) la forma del terreno (plano o en pendiente) sobre el que se manipulan los elementos. En la Tabla 4.6 se presentan algunos factores de aceleración dinámica genéricos utilizados en la construcción.

TABLA 4.6 – Factores de aceleración dinámica (f) (FPIInnovations, 2019)

Maquinaria o tipo de izaje	Coeficiente de aceleración dinámica f
Grúa fija	1,1 ~ 1,3
Grúa automontante	1,3 ~ 1,4
Grúa sobre camión	1,2 ~ 1,6
Levantar o mover sobre terreno plano	2,0 ~ 2,5
Levantar o mover sobre terreno no plano	3 ~ 4 +

Los valores tabulados son con fines informativos. Es importante hacer referencia a valores normalizados proporcionados por las autoridades pertinentes, en caso de que existan.

Otro factor a considerar es el viento, ya que puede aumentar significativamente las fuerzas en los sistemas de izaje. Para ello se deben considerar dichas cargas en función de la superficie expuesta al viento, así como de la ubicación y altura de los elementos que requieren elevación.

4.2.3.3 Distribución asimétrica de la carga según el centro de gravedad

Si la ubicación de los dispositivos de elevación es asimétrica con respecto al centro de gravedad del elemento a elevar, entonces las fuerzas no se distribuirán de forma uniforme en cada dispositivo de elevación. Las fuerzas de tracción y de corte deben calcularse para cada dispositivo de elevación.

Una forma de limitar la excentricidad del centro de gravedad debida a la inclinación y el balan-

ceo de los paneles durante el izaje es utilizar un sistema de separación como el que se observa en la Figura 4.25. Para su correcto uso y evitar rotaciones, se debe alinear el centro de gravedad del elemento izado exactamente frente al gancho instalado en el sistema de separación. Si la elevación de un elemento se realiza sin sistema separador, es importante verificar el equilibrio de la carga durante el izaje. Además, como se mencionó en 4.2.3.2, el viento también puede rotar el panel. Para reducir el efecto del viento, generalmente se utilizan dos cabos de viento a cada lado del panel, los cuales son sujetados por trabajadores. Sin embargo, se recomienda no izar los elementos cuando el viento suponga una fuente de riesgo.

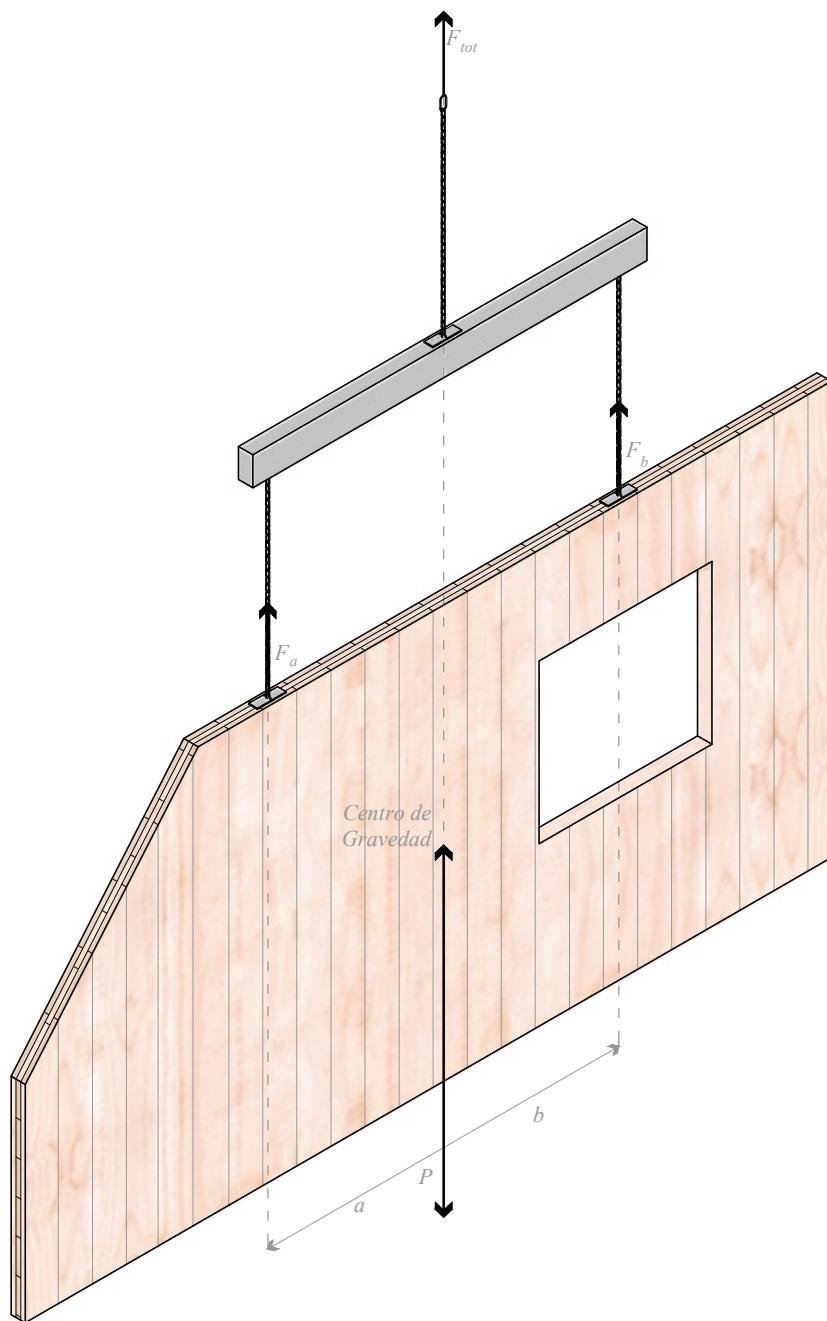


Figura 4.25 - Distribución de fuerzas asimétrica en dos dispositivos de elevación para un panel izado con sistema separador.

Las ecuaciones (4.3) y (4.4) se utilizan para calcular las fuerzas en dos dispositivos de elevación (A y B) instalados asimétricamente con respecto al centro de gravedad del panel que se está izando con un sistema de separación. Esta configuración se puede observar en la Figura 4.25, donde a y b corresponden a las distancias horizontales entre el centro de gravedad del panel y el centro de gravedad de los dispositivos de elevación A y B respectivamente. El centro de gravedad necesario para determinar las medidas a y b podrá ser proporcionado por el fabricante de CLT.

$$(4.3) \quad F_a = \frac{P \times b}{(a + b)}$$

$$(4.4) \quad F_b = \frac{P \times a}{(a + b)} = P - F_a$$

F_a : Fuerza correspondiente al dispositivo de elevación A.

F_b : Fuerza correspondiente al dispositivo de elevación B.

P : Fuerza correspondiente al peso total del panel o carga.

a : Distancia horizontal entre el centro de gravedad del panel y centro de gravedad del dispositivo de elevación A.

b : Distancia horizontal entre el centro de gravedad del panel y centro de gravedad del dispositivo de elevación B.

4.2.3.4 Determinar el coeficiente de ángulo de izaje z

Cuando las eslingas se instalan de tal manera que se forma un ángulo de inclinación β respecto a la dirección normal de la superficie donde se instala el dispositivo de elevación (ver Figura 4.26), entonces es necesario ajustar las fuerzas en los dispositivos de elevación considerando dichos ángulos. Para

esto utiliza el coeficiente de ángulo de izaje z , el cual se calcula según la expresión (4.6)

$$(4.5) \quad z = 1/\cos (\beta)$$

z : Coeficiente de ángulo de izaje.

β : Ángulo de inclinación de la eslinga respecto a la dirección normal de la superficie donde se instala el dispositivo de elevación.

Cabe mencionar que el ángulo de inclinación β varía en función de la longitud de las eslingas. En caso de que las eslingas posean distinta longitud y por ende distinto ángulo de inclinación, se debe usar su respectivo coeficiente z para el cálculo de la fuerza de cada dispositivo de elevación. En caso de que las eslingas tengan el mismo ángulo de inclinación β (como en la Figura 4.26), entonces se puede utilizar la Tabla 4.7, la cual indica el coeficiente de ángulo de izaje z en función de varios ángulos de inclinación β .

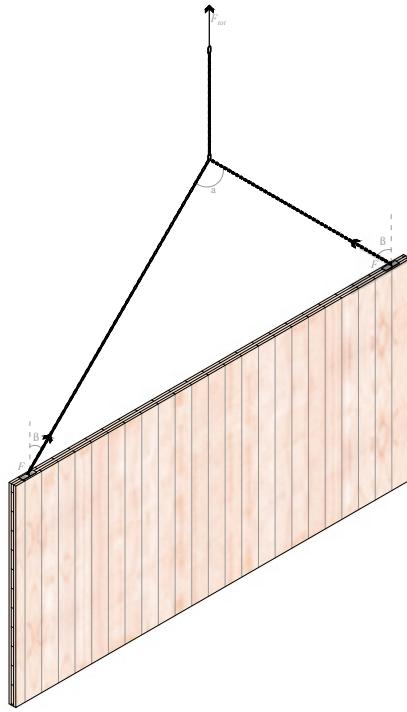


Figura 4.26 - Ángulo de inclinación β para eslingas instaladas simétricamente.

TABLA 4.7 – Coeficiente de ángulo de izaje z en función del ángulo de eslinga β para eslingas instaladas simétricamente (Fuente: FPInnovations, (2019)).

Ángulo de eslinga β	Ángulo α	Coeficiente de ángulo z
0°	0°	1,000
7,5°	15°	1,009
15°	30°	1,035
22,5°	45°	1,082
30°	60°	1,155
37,5°	75°	1,260
45°	90°	1,414
52,5°	105°	1,643
60°	120°	2,000

Se recomienda que el límite de β sea 30°

$$\alpha = 2 \times \beta$$

$$z = 1 / \cos(\beta)$$

4.2.3.5 Determinar la distribución de fuerza de acuerdo con el número de dispositivos de elevación efectivos N

El número de dispositivos de elevación que se utiliza para izar un panel depende principalmente de si este se levanta en posición vertical u horizontal. Los paneles izados de forma vertical generalmente utilizan solo dos dispositivos de elevación, es decir, es suficiente determinar las fuerzas con $N=2$ de acuerdo con la posición del centro de gravedad, el sistema de elevación y el ángulo de elevación.

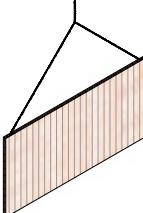
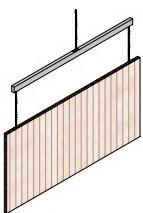
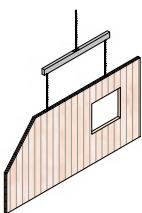
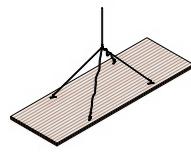
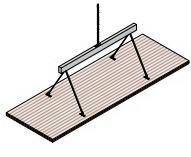
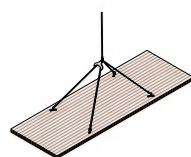
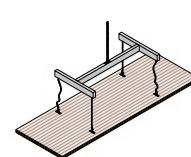
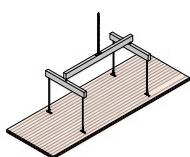
Por otro lado, los paneles izados de forma horizontal requieren de 3 o 4 dispositivos de elevación para un izaje seguro. Esto puede dificultar determinar con precisión la carga aplicada a cada uno de ellos, incluso cuando dichos dispositivos se encuentren posicionados simétricamente con relación al centro de gravedad, ya que no se puede asegurar que la carga sea perfectamente simétrica con relación al centro de gravedad o que las eslingas tengan exactamente la misma longitud. Debido a lo anterior, se recomienda determinar la fuerza de cada dispositivo de elevación considerando solo dos de

ellos efectivos ($N=2$). En casos extremos en que no se conozca la distribución carga con precisión o que el elemento tenga una forma irregular, los cálculos deberían realizarse de manera que cada dispositivo sea capaz de soportar la carga total del elemento izado, es decir $N=1$. La Tabla 4.8 presenta casos típicos de elevación de paneles de CLT y el número de dispositivos de elevación efectivos sugeridos para los cálculos.

Cabe mencionar que, para asegurar una distribución adecuada de las fuerzas en cada dispositivo de elevación considerado como efectivo, es importante que el sistema posea la mínima fricción posible. Para reducir la fricción no deseada se pueden utilizar separadores libres, poleas o grilletes.

Por otro lado, no se deberían utilizar eslingas o cadenas excesivamente largas, ya que esto puede causar inestabilidad y ángulos no deseados al izar. Por ejemplo, en el izaje de paquetes de paneles que pueden ser de gran tamaño se recomienda el uso de un sistema de separadores para limitar la longitud de las eslingas.

TABLA 4.8 – Casos típicos de elevación de elementos de CLT (elaboración propia basada en FPInnovations (2019)).

Eslingas simétricamente posicionadas sin sistema separador	Eslingas simétricamente posicionadas con sistema separador	Eslingas asimétricamente posicionadas con sistema separador
 N=2	 N=2	 N=2
Izaje con dos eslingas		
Sin sistema compensador	Un separador simple	
 N=2	 N=4	
Con sistema compensador	Tres separadores simples fijos	Tres separadores simples libres
 N=4	 N=2	 N=4
Izaje con cuatro eslingas		

Nota: Para todos estos casos típicos de elevación, F_{tot} se encuentra alineada con el centro de gravedad.

4.2.3.6 Cálculo de la fuerza solicitante en cada dispositivo de elevación F_i

La fuerza solicitante en cada dispositivo de elevación F_i con eslingas posicionadas simétricamente con respecto al centro de gravedad del panel, se calcula como se indica en la ecuación (4.6). Es de suma importancia que el dispositivo de elevación soporte la carga calculada según esta expresión y que no se cambie la configuración y geometría del sistema de izaje para la cual se determinó esta distribución de fuerzas, ya que de otra manera el sistema podría fallar y causar graves accidentes.

$$(4.6) \quad F_i = \frac{P \times f \times z}{N}$$

Posteriormente, se debe verificar que cada eslinga o cadena y dispositivo de elevación escogido para la configuración del sistema de izaje soporte la fuerza solicitante F_i (ver expresión (4.7)). En caso de no cumplir, se debe cambiar la elección del sistema de izaje.

$$(4.7) \quad P_d \geq F_i$$

Ejemplo práctico 5.1 – Cálculo de la fuerza resultante F_i

Determinar la fuerza resultante F_i de una losa de CLT de 2,4 m x 12 m, con espesor de 300 mm, que es izada horizontalmente con cuatro eslingas distribuidas simétricamente, utilizando una grúa móvil.

1. Determinar el volumen del panel, multiplicando sus dimensiones especificadas de largo, ancho y espesor.

$$V = L \times b_{CLT} \times t_{CLT} \rightarrow V = 2,4 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$$
$$V = 8,64 \text{ m}^3$$

2. Identificar la densidad media del panel. En este caso se utilizará 478 kg/m^3 .
3. Calcular el peso total del panel multiplicando su volumen y densidad.

$$P = \rho_{CLT} \times V \rightarrow P = 478 \text{ kg/m}^3 \times 8,64 \text{ m}^3$$
$$P = 4129,9 \text{ kg}$$

4. Determinar el factor de aceleración dinámica: $f=1,3$ de acuerdo con la Tabla 4.6
5. Ajustar la fuerza considerando el ángulo de elevación: Si se considera el ángulo de inclinación de las eslingas de 30° (el límite máximo recomendado), el coeficiente de ángulo $z=1,155$ según lo indicado en la Tabla 4.7
6. Determinar el número de dispositivos de elevación efectivos: Si se decide no usar un sistema compensador o separador, entonces utilizar $N=2$ de acuerdo con la Tabla 4.8
7. Luego, utilizando la expresión (4.6):

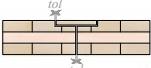
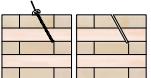
$$F_i = \frac{P \times f \times z}{N} \rightarrow \frac{4129,9 \times 1,3 \times 1,155}{2} = 3100,5 \text{ kg}$$

8. A continuación, se debe verificar que cada eslinga y dispositivo de elevación elegido soporte la carga calculada F_i . En caso de no cumplir, se debe cambiar la elección del sistema de izaje.

4.3 ENSAMBLAJE

Para la etapa de ensamblaje es esencial la configuración de las uniones de los paneles de CLT. Sin embargo, estas no son descritas en el presente manual debido a que se detallan en el Manual de modelación y diseño estructural de CLT (Reyes et al., 2025). Asimismo, las recomendaciones

para impermeabilización y sellado adecuado de las juntas de los paneles se detallan en la Guía de diseño y especificación de CLT. Por lo que, en lo que respecta a este manual, se mencionan herramientas que pueden ser útiles específicamente para el ensamblaje de paneles de CLT y algunas recomendaciones generales de esta subetapa que se encuentran en Recomendaciones prácticas 4.2.

Recomendaciones prácticas 4.2 – Instalación y ensamblaje de paneles (elaboración propia basada en [1] [2] [3] [4] [5]).	
	1- Evitar el ensamblaje de paneles en condiciones climáticas adversas (como lluvia, viento fuerte, nieve o temperaturas extremas) que puedan afectar la seguridad de los trabajadores y la integridad de los paneles.
	2- Identificar y respetar las tolerancias permitidas para garantizar que las piezas encajen correctamente.
	3- Respetar la configuración de uniones descrita por el ingeniero o profesional a cargo.
	4- Asegurar un sellado adecuado de las juntas de los paneles para reducir la transmisión acústica, térmica, de aire y de fuego, a través de losas y muros.
	5- Utilizar los elementos de protección personal.
	6- Utilizar sistemas anticaídas como arnés, líneas de vida, barandas.

Fuentes:

- [1] Binderholz (n.d.)
- [2] Egoin (2016)
- [3] Rothoblaas (2020)
- [4] Swedish Wood (2022)
- [5] Waugh Thistleton Architects (2018)

4.3.1.1 Herramientas de ensamble

A continuación, se describen herramientas que pueden ser útiles para el ensamblaje de paneles CLT (Binderholz (n.d.), FPIInnovations (2019), Rothoblaas (2020)). Cabe mencionar que estas no son las únicas herramientas de ensamble existentes en el mercado y, además, se recomienda revisar las especificaciones de cada una con el fabricante.

4.3.1.1.1 Puntales de montaje

Esta herramienta puede ser útil para la instalación de muros, ya que permite el izaje del panel desde una posición horizontal hasta una vertical sin utilizar necesariamente una grúa. Los puntales de montaje generalmente son ajustables, es decir, que pueden regular su longitud y lograr un ángulo de instalación requerido. La fijación se realiza en sus dos extremos con tornillos como se puede apreciar en la Figura 4.27. El uso de puntales de montaje contribuye a la estabilidad de la instalación de paneles, incluso en algunos casos se recomienda izar los muros horizontalmente y luego alzaprimarlos en el piso correspondiente utilizando esta herramienta de ensamblaje. En la Figura 4.28 se puede apreciar la instalación de un muro utilizando puntales de montaje. Cabe mencionar que, si la cara en donde se fija el puntal de montaje es visible, entonces se deberán reparar los agujeros (FPIInnovations, 2019).

4.3.1.1.2 Tirapaneles

Esta herramienta se utiliza principalmente para unir los paneles previamente ubicados y contiguos, asegurando un contacto adecuado entre ellos. En la Figura 4.29 se puede observar un tirapanel con gancho, cuya aplicación daña la madera (ver Figura 4.30) por lo que se recomienda ubicarla en una cara que no sea visible y reparar posteriormente. Mientras que en la Figura 4.31 se observa un tirapanel con placa de tornillo. A diferencia del anterior su aplicación no daña la madera, debido que utiliza tornillos de fijación. El tirapanel con placa de tornillo se usa principalmente para asegurar el contacto adecuado entre dos paneles perpendiculares, tal como se indica en la Figura 4.32 (FPIInnovations, 2019).

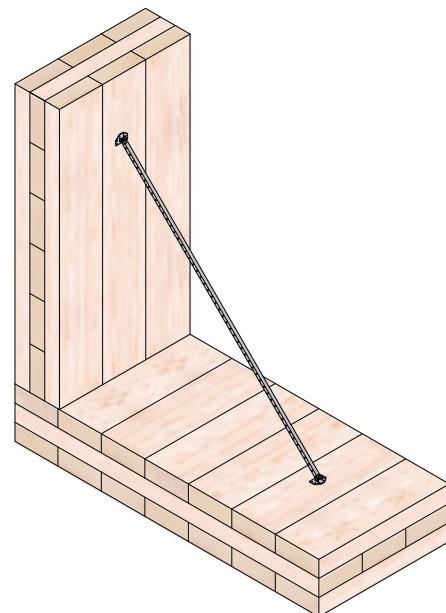


Figura 4.27 - Puntal de montaje.

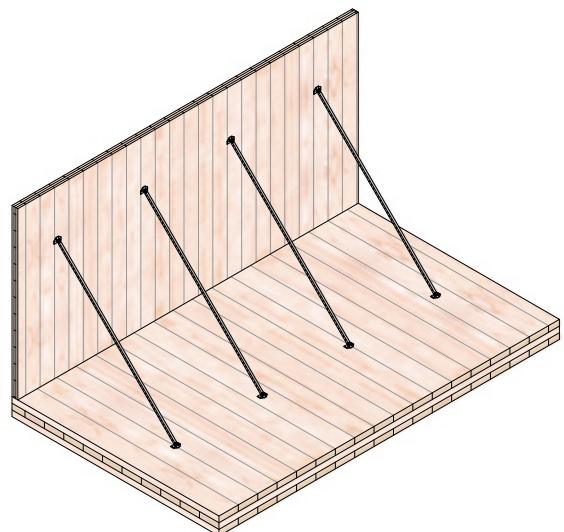


Figura 4.28 - Instalación de un muro con puntales de montaje.

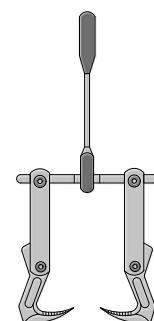


Figura 4.29 - Tirapanel con gancho.

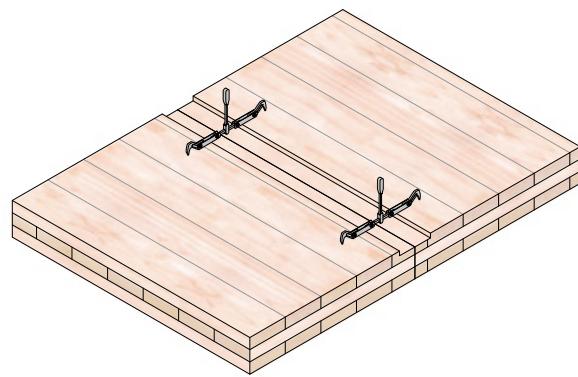


Figura 4.30 - Unión de paneles adyacentes con tirapanel con gancho.

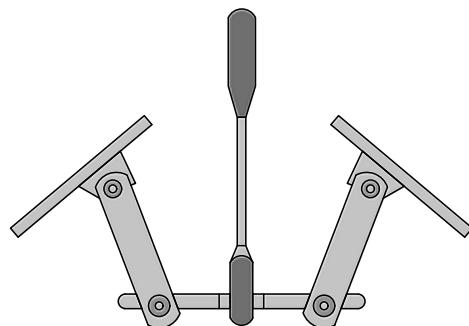


Figura 4.31 - Tirapanel con placa de tornillo.

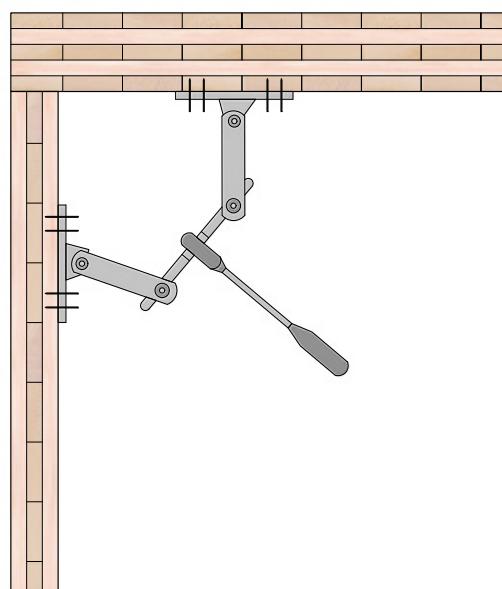


Figura 4.32 - Unión de paneles perpendiculares con tirapanel con placa de tornillo.

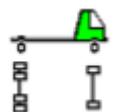
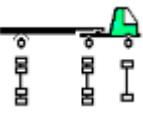
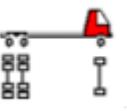
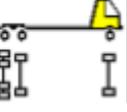
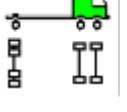
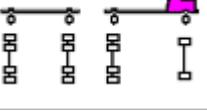
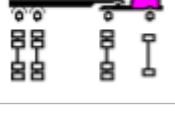
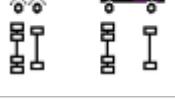
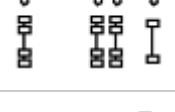
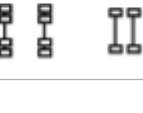


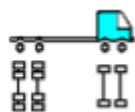
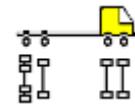
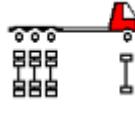
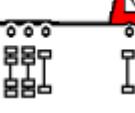
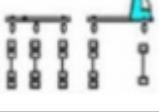
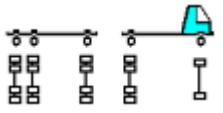
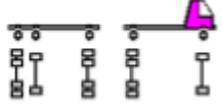
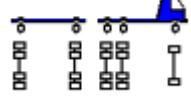
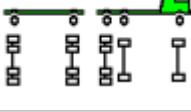
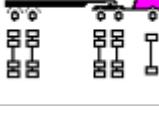
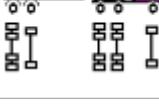
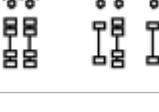
ANEXO

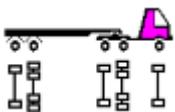
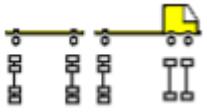
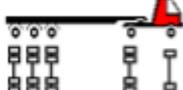
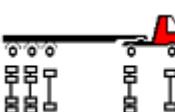
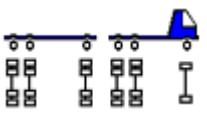
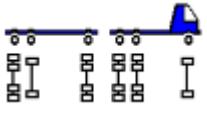
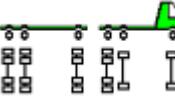
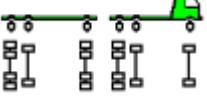
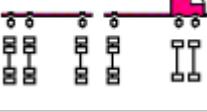
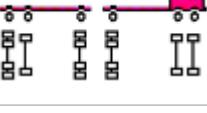
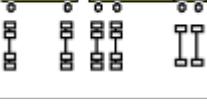
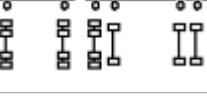
TABLA 5.1 - DOCUMENTACIÓN MÍNIMA RECOMENDADA PARA LAS ETAPAS DE TRANSPORTE Y MONTAJE (ELABORACIÓN PROPIA BASADA EN MINVU (2022) Y CIM UC (2024)).

Modelo BIM del proyecto
Especificaciones de paneles y otros elementos
Sistema de identificación o etiquetado de paneles y otros elementos
Instrucciones de traslado
Planos de distribución de carga de paneles en camión
Lista de comprobación de entrega de paneles
Instrucciones de manipulación
Instrucciones de acopio
Instrucciones y planos de izaje
Secuencia de montaje
Instrucciones de ensamblaje
Holguras y tolerancias
Mecanismos para implementar el sistema de control de calidad
Instrucciones de reparación
Instrucciones particulares de un elemento

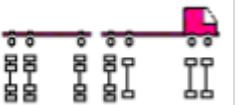
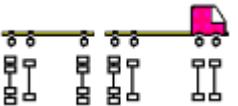
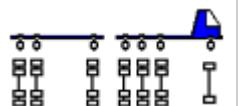
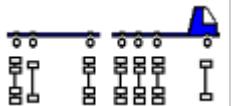
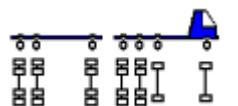
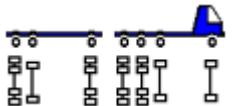
TABLA 5.2 – Peso bruto máximo y longitud máxima del camión según su tipo (elaboración propia basada en MOP (2005) y MOP (n.d.)).

Tipo de camión	Esquema representativo	Nº de ejes	Peso bruto Máximo [t]	Longitud Máxima [m]
200		2	18	11
300		3	29	18,6
310		2	25	11
311		2	23	11
340		2	25	11
400		4	40	20,5
410		3	36	18,6
411		3	34	18,6
420		3	36	18,6
422		3	34	18,6
440		3	36	11

Tipo de camión	Esquema representativo	Nº de ejes	Peso bruto Máximo [t]	Longitud Máxima [m]
450		2	32	11
451		2	30	11
470		2	32	11
477		2	30	11
500		5	45 ¹	20,5
510		4	45	20,5
511		4	45	20,5
520		4	45	20,5
522		4	45	20,5
530		3	39 *	18,6
531		3	39 *	18,6
532		3	39 *	18,6

Tipo de camión	Esquema representativo	Nº de ejes	Peso bruto Máximo [t]	Longitud Máxima [m]
533		3	39	18,6
540		4	45	20,5
570		3	43	18,6
577		3	41	18,6
630		4	45	20,5
631		4	45	20,5
632		4	45	20,5
633		4	45	20,5
650		4	45	20,5
651		4	45	20,5
660		4	45	20,5
662		4	45	20,5

Tipo de camión	Esquema representativo	Nº de ejes	Peso bruto Máximo [t]	Longitud Máxima [m]
670		4	45	20,5
677		4	45	20,5
680		3	39*	18,6
681		3	39*	18,6
687		3	39*	18,6
688		3	39*	18,6
690		3	45 ¹	18,6
692		3	45 ¹	18,6
697		3	45 ¹	18,6
699		3	45 ¹	18,6
770		4	45 ¹	20,5
771		4	45 ¹	20,5

Tipo de camión	Esquema representativo	Nº de ejes	Peso bruto Máximo [t]	Longitud Máxima [m]
772		4	45 ¹	20,5
773		4	45 ¹	20,5
780		4	45 ¹	20,5
781		4	45 ¹	20,5
787		4	45 ¹	20,5
788		4	45 ¹	20,5

REFERENCIAS

AASHTO. (2004). *Geometric Design of Highways and Streets*.

Ahvenainen, J., & Sousa, H. (2016). *Multistorey building made of CLT: How to design it right?*
<https://www.researchgate.net/publication/311558471>

Binderholz. (n.d.). *Manual de Procesamiento binderholz CLT BBS*.

CIM UC. (2024). *Guía de diseño e industrialización en madera*.
www.madera.uc.cl

Egoin. (2016). *SISTEMA CONSTRUCTIVO CLT (Cross Laminated Timber)*.
<https://egoin-andalucia.com/>

FPIInnovations. (2019). *Canadian CLT Handbook* (E. Karacabeyli & S. Gagnon, Eds.; Vols. 1, 2).
FPIInnovations.

Giro limpio. (n.d.). *Tipos de vehículos y remolques de transporte de carga*.

Hilam. (n.d.). *Recomendaciones de manejo y uso de CLT*.

Ministerio De Transportes Y Telecomunicaciones; Subsecretaria De Transportes. (1995, January 3). *Resolucion 1 Establece Dimensiones Maximas A Vehiculos*. Resolución 1 Establece Dimensiones Máximas a Vehículos Que Indica.

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=31779>

MINVU. (2022). *Protocolo Fiscalización Técnica de Obras en proyectos habitacionales industrializados Financiamiento Asistencia Técnica*.

MOP. (n.d.). *8- TIPOS DE CAMIONES CLASIFICACION MOP*.

MOP. (2005). *7- CLASIFICACION POR TIPO PLAZAS FIJAS AUTOMATICAS DE PESAJE*.

MOP. (2023a). *Manual de autorizaciones para transportes especiales, versión 2023*.

MOP. (2023b). *Volumen N°3 Manual de carreteras*.

MTC Solutions. (2024). *Rigging Design Guide*.

NCh1198-2024 Madera - Construcciones En Madera - Cálculo (2024).

Piris Bernal. (2015). *ESTRUCTURES CLT*.

Reyes, C., Bascuñán, F., & Guindos, P. (2025). *Manual de modelación computacional y diseño estructural de edificios de madera contralaminada (CLT)*.

Rothoblaas. (2017). *Guía para Edificios de CLT*.

Rothoblaas. (2020). *Herramientas para Construcciones de Madera. Carpintería, Transporte y Máquinas*.

Rothoblaas. (2022). *Tools for Timber Construction*.

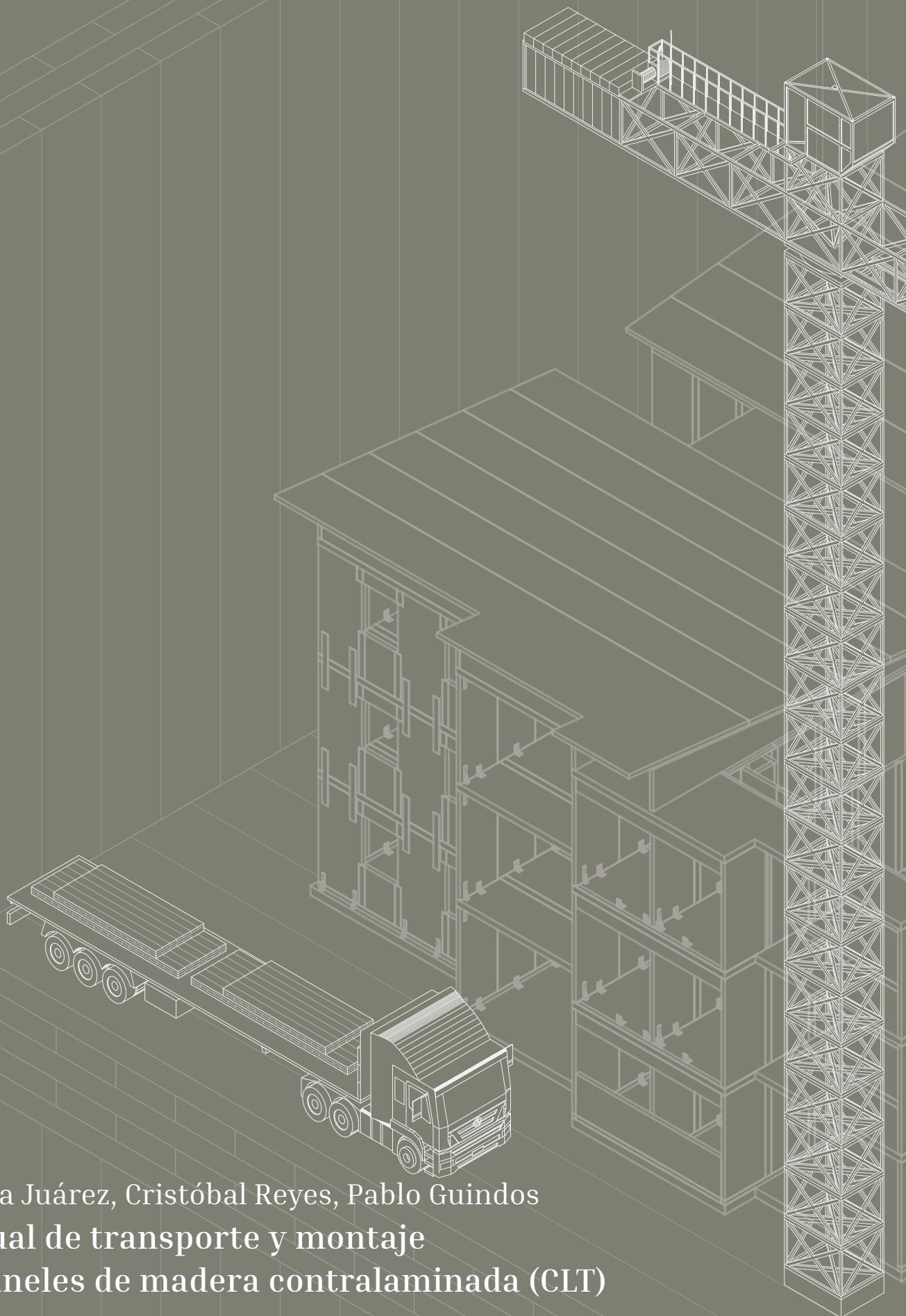
Simpson Strong-Tie. (2024). *Lifting Device Design Guide*.

SmartLam. (2020). *CROSS-LAMINATED TIMBER DELIVERY, HANDLING AND STORAGE*.

StoraEnso. (2020). *CLT by Stora Enso Construction*.

Swedish Wood. (2022). *The CLT Handbook CLT structures-design and detailing*.
www.traguiden.se,

Waugh Thistleton Architects. (2018). *CLT 100 UK Projects*.



Camila Juárez, Cristóbal Reyes, Pablo Guindos
**Manual de transporte y montaje
de paneles de madera contralaminada (CLT)**