Documento de Divulgación N° 51



Estudio Periódico de Temáticas de Madera N° 4

PRODUCTOS DE INGENIERÍA EN MADERA

INSTITUTO FORESTAL
2020

Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

INFOR

CORFO

Las fotografías e imágenes incorporadas en tapas o texto de la presente publicación provienen de archivo institucional o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación.

Documento de Divulgación N° 51

Estudio Periódico de Temáticas de Madera N° 4

PRODUCTOS DE INGENIERÍA EN MADERA

Cecilia Gallardo[1]

Proyecto Fortalecimiento de las Capacidades Tecnológicas del Instituto Forestal para el Desarrollo de la Industria Secundaria de la Madera, a través de Bienes Públicos Orientados al Sector de la Construcción

UNIDAD DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
INSTITUTO FORESTAL
2020

[1] Investigadora, Instituto Forestal, Chile. cgallardo@infor.cl



INFOR

Instituto Forestal
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Chile
F. 223667115
www.infor.cl

ISBN N° 978 956 318 184 - 5
Registro Propiedad Intelectual N° 2021 A 1553

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Gallardo, Cecilia, 2020. Productos de Ingeniería en Madera. Estudio Periódico de Temáticas de Madera N° 4. Instituto Forestal, Chile. Documento de Divulgación N° 51. P. 27
https://doi.org/10.52904/20.500.12220/30395

ÍNDICE

PRÓLOGO

1.INTRODUCCIÓN…… 9

2. PRODUCTOS DE INGENIERÍA EN MADERA……. 11

2.1. Madera en Masa……. 12

2.1.1. Madera Contralaminada – CCT…… 12
2.1.2. Madera Laminada Encolada – GLULAM……. 15
2.1.3. Madera Laminada con Pasadores…… 18
- Madera Laminada con Clavos – NLT…… 18
- Madera Laminada con Tarugos – DLT……. 19

2.2. Madera Compuesta Estructural – SCL…… 21

2.2.1. Madera Laminada de Chapas – LVL…… 22
2.2.2. Madera de Hojuelas Paralelas – PSL…….. 23
2.2.3. Madera Laminada de Hojuelas – LSL…… 24

3. CONCLUSIONES…….. 25

REFERENCIAS…….. 25

PRÓLOGO

El Instituto Forestal, a través de su Unidad de Transferencia Tecnológica, presenta su cuarto estudio para el sector de tecnologías en construcción en madera y productos en madera. La elaboración de este documento se enmarca dentro de las actividades del proyecto "Fortalecimiento de las Capacidades Tecnológicas del Instituto Forestal para el desarrollo de la Industria Secundaria de la Madera, a través de Bienes Públicos, orientados al Sector de la Construcción", financiado por CORFO.

El propósito de este documento es aportar al sector forestal-maderero información de valor estratégico que pueda contribuir de forma positiva a los diversos actores que hoy desarrollan sus trabajos e investigaciones en el área de productos de madera para la construcción en el país.

En el documento se presenta una revisión y descripción de los productos de ingeniería en madera (*EWP-Engineered Wood Products*) que han desempeñado un papel importante en la innovación de materiales de construcción durante las últimas tres décadas y que son el resultado de la aplicación de la ciencia e ingeniería de materiales en el proceso de utilización óptima de componentes de madera.

Frente al cambio climático y la necesidad de soluciones constructivas con bajas en emisiones de gases de efecto invernadero, que además mantienen carbono retenido en sus estructuras, los EWP están abriendo nuevas posibilidades de diseño que incluso permiten la construcción de edificios de gran altura.

El Instituto Forestal espera que la información reunida en el presente documento constituya un aporte hacia la meta de incrementar el uso de la madera en la construcción en el país, con todos los beneficios sociales, económicos y ambientales que el uso de este material ofrece.



Fernando Raga Castellanos
Director Ejecutivo
Instituto Forestal

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, edificios con estructura de madera de gran altura han comenzado a aparecer en distintas ciudades del mundo. En Noruega se completó en marzo de 2019 la construcción del *Mjøstårnet*, moderno edificio de 18 pisos de altura, que se convirtió en el más alto del mundo, con 85,4 metros, y que alberga un hotel, restaurantes, oficinas y departamentos residenciales.

También en Noruega, y antes del Mjøstårnet, otro edificio poseía el título del edificio de madera más alto de su país, *The Treet* (El Árbol), una torre residencial de 49 metros de altura, que hasta el 2015, fue el edificio de madera más alto del mundo.

En Canadá y considerado hasta febrero de 2019 como la mayor edificación de madera del mundo se encuentra el *Brocks Commons Tallwood House*, edificación que sorprende tanto por su altura de 53 metros, como por la rapidez con la que se construyó. Esta residencia alberga a más de 400 estudiantes de la universidad de British Columbia, en Vancouver (La Tercera, 2019).

Para construir en altura con madera fue necesario desarrollar nuevos productos capaces de cumplir con los desafíos y requerimientos estructurales de este tipo de construcción. Bajo este nuevo desafío aparecen los Productos de Ingeniería en Madera (*EWP-Engineered Wood Products*), que se fabrican uniendo hojuelas, partículas, fibras, chapas o piezas de madera con adhesivos u otros medios de fijación.

Usar madera en edificios residenciales y no residenciales no es algo nuevo, sino más bien un renacimiento del tema. Las nuevas técnicas de construcción permiten ampliar el uso de la madera en este tipo de obras, además, hoy en día la madera se presenta como una alternativa a los materiales de construcción tradicionales para solucionar problemas de déficit habitacional y también mitigar los efectos del cambio climático.

Actualmente un 55% de la población mundial vive en asentamientos urbanos y dado el crecimiento acelerado de las ciudades se prevé que para el año 2050 el 70% de la población vivirá en dichos entornos (UN, 2018).

En Chile el panorama es similar. Según la Cámara Chilena de la Construcción, al año 2017 el déficit habitacional era de 739.603 viviendas para más de 2,2 millones personas, cifra que considera solo a las viviendas necesarias para reemplazar a aquellas inhabitables (CChC, 2019).

Hasta ahora las necesidades habitacionales, incluidas las de Chile, se han suplido con edificios construidos principalmente con materiales como el acero y concreto. Esto ha traído consigo un nuevo problema, la gran huella de carbono asociada a estos materiales.

La industria de la construcción actual, residencial e industrial, representa el 39% de las emisiones de CO_2 a la atmosfera, genera el 30% de los residuos sólidos y contamina el 20% del agua (*Growing Buildings*, 2017).

La clave para el incentivo de la madera en la construcción está dada por las ventajas que posee este material desde un punto de vista medioambiental y como material de construcción.

Desde el punto de vista medioambiental se destaca el rol que juega la madera en mitigar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI); un metro cubico de madera es capaz de almacenar entre 1 a 1,6 tCO_2 (*Growing Buildings*, 2017).

La madera, además, es un recurso renovable. El manejo sustentable del recurso forestal garantiza su producción. En Chile, hasta diciembre de 2015, las áreas certificadas por FSC-Chile totalizaban 2.277.504,2 ha entre plantaciones, bosque nativo, áreas de protección y otras.

Estas certificaciones aseguran, entre otras cosas, que la tasa de plantación supere siempre la de cosecha (FSC Chile, 2015). Además, los procesos de extracción y manufactura de la madera consumen menos energía en comparación con la elaboración de otros materiales, tales como el cemento y el acero.

Junto con la optimización de los procesos forestales también ha sido posible reducir en forma importante la generación de residuos sólidos, hoy en día toda la materia prima se aprovecha en productos como paneles reconstituidos, fibras y combustibles derivados de la madera (Planet Ark, 2019).

La madera presenta ventajas como material de construcción, dentro de las cuales destaca el menor tiempo de construcción. Como ejemplo se puede mencionar el edificio *Stadthaus* en Londres. Este edificio residencial de 9 pisos fue levantado en 49 semanas y se calcula un ahorro de cinco meses en comparación con la construcción en hormigón, fue terminado en enero de 2009 (TRADA *Technology*, 2009).

Otra ventaja a señalar es su comportamiento frente al fuego. Las propiedades aislantes de la madera le proveen cierta resistencia al fuego hasta los 250°C. Si llega a inflamarse, su baja conductividad térmica hace que se queme lentamente y que en su exterior se forme una capa de carbón que protege la parte interna y le permite conservar sus propiedades estructurales por más tiempo. Adicionalmente, el mercado ofrece productos retardantes que mejoran de manera significativa el comportamiento de la madera frente al fuego (Madera 21, 2018).

El buen comportamiento antisísmico también es una ventaja de las construcciones en madera, que al ser más livianas están expuestas a impactos menores. Las conexiones por medio de clavos y otros sistemas de fijación logran disipar las energías que sobrevienen durante un sismo, haciendo así a la estructura más flexible y menos propensa al colapso estructural. Además, las normas que rigen el diseño y la construcción de edificios con madera estructural se actualizan periódicamente en base a la experiencia y la investigación (*Thinkwood,* 2018).

En los últimos años también se han realizado estudios que destacan la calidez y bienestar de la madera como material de construcción. Los diseñadores, arquitectos y usuarios que prefieren la madera aseguran que ésta confiere a los espacios una belleza y calidez sin igual, además de transmitir una sensación de confort, tranquilidad y bienestar que puede mejorar la calidad de vida de sus ocupantes.

Esta tendencia se conoce como diseño biofílico y uno de sus más recientes informes fue publicado en abril de este año, "*Wood, Well-being and Performance: The Human and Organizational Benefits of Wood Buildings*".

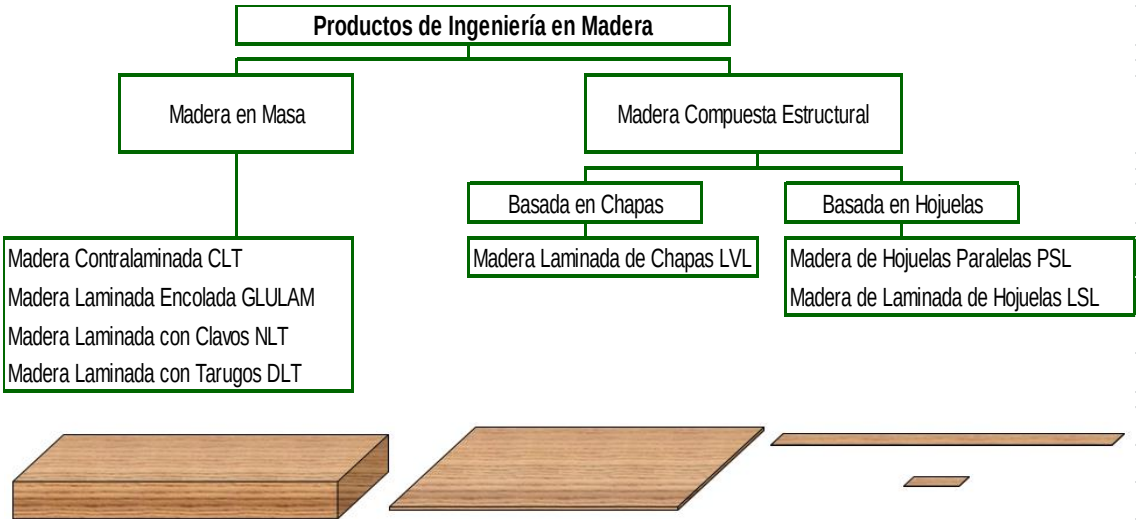
El mencionado informe señala que aumentar el uso de madera y materiales inspirados en la naturaleza es bueno para la salud. Escrito por Graham Lowe, Ph.D., el informe resume las

últimas investigaciones científicas y tendencias convergentes sobre diseño *biofílico y e*xplora el impacto de la madera en el bienestar y el desempeño humano cuando es una característica de diseño visible para los ocupantes de un edificio (Lowe, 2020).

2. PRODUCTOS DE INGENIERIA EN MADERA

Frente al cambio climático y la necesidad de construcciones con bajas en emisiones de gases de efecto invernadero, los productos de ingeniería en madera, en adelante EWP, están abriendo nuevas posibilidades de diseño, permitiendo así la construcción de edificios de gran altura.

Para efectos de este documento los EWP han sido clasificados en dos categorías, tal como se observa en la Figura N° 1.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura N° 1
CLASIFICACIÓN DE EWP

Los EWP fabricados con madera aserrada se denominan madera en masa o *Mass Timber*, categoría donde se encuentran la madera contralaminada (CLT), la madera laminada encolada (GLULAM), la madera laminada unida con clavos (NLT) y la madera laminada unida con tarugos (DLT).

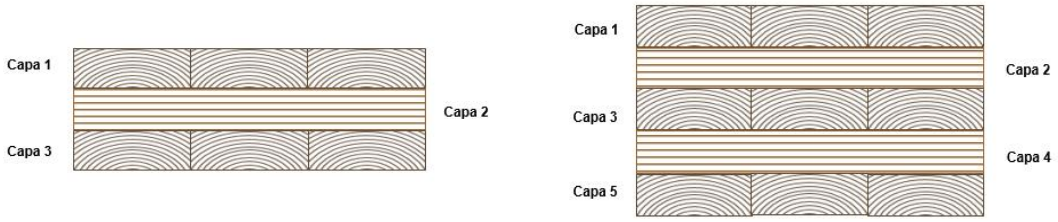
Por su parte, los productos de madera compuesta estructural (SCL) corresponden a productos que se fabrican uniendo, con la ayuda de adhesivo, presión y temperatura, capas de chapas o capas de hojuelas; y que considera a la madera laminada de chapas (LVL), la madera laminada de hojuelas (LSL) y la madera de hojuelas paralelas (PSL) (*Naturallywood*, 2020a)

2.1. Madera en Masa

2.1.1. Madera Contralaminada – CLT

Dentro de los productos *Mass Timber* más conocidos está el CLT (*Cross Laminated Timber* en inglés) o madera contralaminada. Según la definición en *APA/ANSI PRG 320-2012,* el CLT se define como *"Producto de ingeniería en madera prefabricado que considera al menos tres capas de madera aserrada sólida adheridas ortogonalmente, pegando capas longitudinales y transversales con adhesivos estructurales, para formar un elemento sólido de forma rectangular destinado a aplicaciones en techos, pisos o paredes."*

En configuraciones especiales, las capas consecutivas pueden colocarse en la misma dirección, dando una doble capa (por ejemplo, capas longitudinales dobles en las caras exteriores y adicionales capas dobles en el núcleo del panel) para obtener capacidades estructurales específicas. Los productos CLT suelen ser fabricados con tres a siete capas e incluso más. La Figura N° 2 incluye un diagrama de una configuración de panel CLT de 3 y 5 capas (*FPInnovations*, 2019).



(Fuente: Elaboración propia).

Figura N° 2
CONFIGURACIÓN DEL PANEL CLT PARA 3 Y 5 CAPAS

Si se quisiera fijar en el tiempo la aparición del CLT, esta sería el año 1990 en Austria, donde un esfuerzo de investigación conjunto entre la industria y la academia concluyó con el desarrollo del CLT moderno. A principios de la década del 2000, y luego de algunos años de poca actividad, la construcción en CLT aumentó significativamente, esto debido al movimiento de construcción ecológica y las mejoras en términos de eficiencia, normativa y aprobaciones del producto, además de mejores canales de comercialización y distribución.

Europa es el continente donde más se utiliza el CLT, al año 2012 se reportaban más de cien proyectos (Mohammad *et al.*, 2011) y una considerable actividad de investigación en las instituciones europeas (Espinoza *et al.,* 2016). Además, la mayor parte de la producción de CLT también se ubica allí, particularmente en países como Austria, Alemania, Suiza, Suecia, Noruega y el Reino Unido. Actualmente, el mayor fabricante de CLT es Stora Enso con tres unidades de producción y con una capacidad total de 270.000 m^3 (Gruvön en Suecia e Ybbs y Bad St. Leonhard en Austria), además, la empresa anunció su decisión de invertir aproximadamente 79 millones de euros en una nueva línea de producción de CLT en su aserradero de Ždírec en la República Checa. La inversión mejorará aún más la posición de Stora Enso como proveedor mundial de elementos de madera de ingeniería de alta calidad y como líder del mercado de CLT. Se estima que la producción comience durante el tercer

trimestre de 2022 y la capacidad de producción anual se estima en 120.000 m^3 (Stora Enzo, 2020)

En Canadá y Estados Unidos, a diferencia de Europa, la implementación de CLT está en sus fases iniciales, pero avanzando a ritmos bastante acelerados. El desarrollo de la construcción con CLT en estos países se basa en la necesidad de proporcionar productos y sistemas alternativos a base de madera para arquitectos, ingenieros y contratistas. A la fecha se pueden enumerar seis fabricantes norteamericanos que producen CLT y otros productos de ingeniería de madera, y varios otros están en proceso de evaluación de fabricación o ya han comenzado la prueba piloto de producción. En el ámbito de la investigación y desarrollo, y bajo el programa *Transformative Technologies* del Ministerio de Recursos Naturales de Canadá (NRC), *FPInnovations* lanzó un programa de investigación multidisciplinario sobre CLT en 2005, cuyo producto final es el *CLT Handbook,* publicado en **2011**, manual que posee las siguientes características (*FPInnovations*, 2019):

- Información multidisciplinaria detallada y revisada por pares sobre todos los atributos de desempeño del CLT.
- Información de los investigadores y usuarios expertos de CLT.
- Información alineada con los códigos y estándares actuales, y antecedentes sobre el futuro de códigos y normas.
- Información crítica y orientación necesaria para el desarrollo de soluciones alternativas.

Desde su primera publicación, se han llevado a cabo investigaciones adicionales a nivel mundial y cambios normativos que permiten que se utilice más madera en la construcción. Los desarrollos han permitido actualizar constantemente el manual CLT. La edición 2019 por ejemplo, aumenta las disposiciones desarrolladas recientemente e incluye un ejemplo de diseño de un edificio CLT de 8 pisos. Adicionalmente el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI por sus siglas en inglés), junto a APA (*The Engineered Wood Association*), publica en el año 2011 la norma para madera contralaminada con clasificación de rendimiento, ANSI / APA PRG 320. Esta normativa cubre los requisitos de fabricación, calificación y garantía de calidad de la madera contralaminada (CLT). Su última versión publicada corresponde al año 2019.

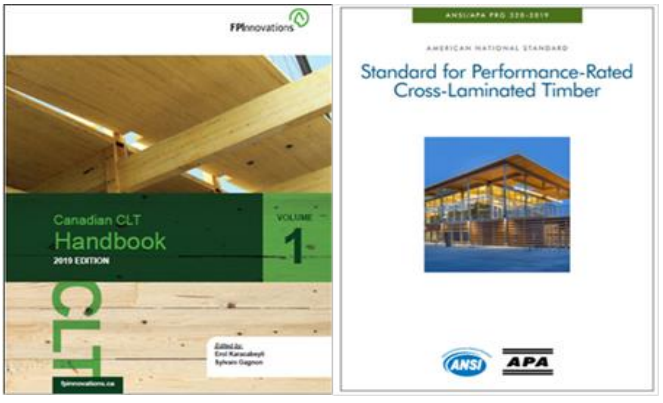


Figura N° 3
PORTADA CLT *HANDBOOK* EDICIÓN 2019. PORTADA NORMA ANSI/APA 320 EDICIÓN 2019

Desde el punto de vista económico, y al ser uno de los productos más conocidos, utilizados y con fuerte desarrollo en las líneas de I&D, las expectativas de crecimiento en términos de producción son bastante favorables, ya en el año 2014 se estimaba una producción global anual de 600.000 m^3 y se esperaba que excediera los 3 millones de m^3 para la siguiente década (Espinoza *et al.,* 2016). Reportes recientes indican que la producción global para el año 2019 fue estimada en 1,4 millones de m^3 (*Timber Industry News*, 2020).

En el ámbito constructivo el CLT ha sido usado para estructuras de techo, piso y paredes. La pre-fabricación de estos paneles permite agregar detalles de aberturas para puertas, ventanas, escaleras y ductos para conexiones eléctricas y sanitarias. Los edificios generalmente se ensamblan en el sitio, a partir de paneles prefabricados traídos desde la planta, donde se conectan mediante sistemas de sujeción mecánica como pernos, tirafondos, tornillos autorroscantes u otros sistemas de conexión (*PFInnovations*, 2019).

En Chile, actualmente el CLT se encuentra en etapas de investigación y desarrollo; donde destacan los trabajos desarrollados por las Universidades del Bio Bio y de Santiago.

Las primeras experiencias con este producto de ingeniería consideraron la participación de JMS y CRULAMM. En 2011, se realizó la construcción de una vivienda residencial en San Pedro de la Paz de 120 m^2 y dos pisos de altura. Este desarrollo fue un proyecto FONDEF y terminó de construirse en 2013, dando como resultado la primera vivienda *PassivHaus* de Chile, es decir, una casa con un consumo energético muy bajo y que ofrece durante todo el año una temperatura ambiente confortable sin el uso de calefacción convencional.



(Fotos archivo INFOR)

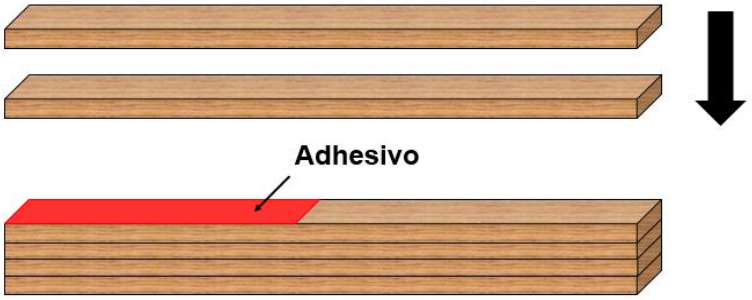
Figura N° 4
***PASSIVHAUS* SAN PEDRO DE LA PAZ**

En proyectos más recientes destaca la iniciativa Proyectar en Madera (http://www.proyectarenmadera.cl), que consiste en el diseño de 4 pilotos de Salas Cuna en madera con la tecnología CLT. Además, un equipo de la Universidad del Bio Bio, junto a las empresas CMPC Maderas, Simpson Strong Tie Chile Ltda., Premad Ltda., Constructora IMB Ltda., Alto Horizonte Ltda., JMS Ingenieros Consultores Ltda., Promaest Ltda., Maderas Cortelima y Forestal Tricahue Ltda., levantará el primer edificio de cinco pisos construido en CLT de Chile, por medio del proyecto PymeLab Madera-CORFO.

Este edificio estará emplazado en el campus Concepción de la Universidad del Bio Bio, colindante a las dependencias del Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción CITEC**,** marcando un precedente en este tipo de construcción (UBB, 2020).

2.1.2. Madera Laminada Encolada - GLULAM

Otro de los productos más conocidos y antiguos corresponde a la madera laminada encolada (MLE) o GLULAM (*Glued Laminated Timber* en inglés). La norma ASTM D3737 la define como "Un material fabricado al unir piezas de madera con adhesivo, debidamente seleccionadas y preparadas, en forma recta o curva, y con la veta de todas las piezas paralelas al eje longitudinal del producto". Una de las grandes ventajas de este producto es la facilidad con la que se pueden producir formas arqueadas o curvas en vigas o pilares.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura N° 5
DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN GLULAM

El desarrollo de la madera laminada encolada se inicia en Europa a fines del siglo XIX y principios del XX, donde aparece como una nueva manera de aumentar el tamaño de los elementos estructurales y con ello las libertades de diseño. Una de las primeras estructuras construidas es el salón de reuniones King Edward College ubicado en Southampton, Inglaterra, construido en 1860. Un paso importante para el desarrollo de proyectos con madera laminada encolada lo dio Karl Friedrich Otto Hetzer (1846-1911), quien en 1901 obtiene la primera patente para este producto. La patente suiza hace referencia a vigas rectas compuestas de varias láminas unidas entre ellas con adhesivo.

En 1906 Hetzer obtiene también la patente para elementos curvos laminados. Sus patentes se extendieron por varios países europeos donde se comenzó a desarrollar la construcción con este material. Uno de los países donde más auge tuvo este producto fue Suiza, donde en 1920 existían más de 200 edificios con vigas o arcos tipos Hetzer (Russell and Hernandez, 1997).

La llegada a Estados Unidos de la madera laminada encolada fue gracias a Max Hanisch, antiguo socio de Hetzer, quien la introduce en el país norteamericano desde Europa. En un principio Hanisch obtuvo cierto escepticismo para el producto, pero durante la Segunda Guerra Mundial, debido a las restricciones sobre el acero (demandado en ese entonces para la fabricación de armamento), la madera laminada se convirtió en una de las mejores alternativas para la construcción. Además, con la introducción en 1942 de adhesivos de fenol resorcinol

resistentes al agua, la madera laminada encolada pudo ser usada a la vista (intemperie). En 1934 se construye en Estados Unidos el primer edificio con este material, se trata de un gimnasio con marcos rígidos de 19,5 m de luz para una escuela en Pesthigo (*Forest History Society,* 2018).

Desde ese entonces, numerosos proyectos se han levantado en Norteamérica y Europa usando la madera laminada encolada, y al igual que con el CLT, las expectativas del mercado para este producto son muy alentadoras. Informes del *Grand Review Research* prevén que el mercado global alcance los USD 8.000 millones y es probable que Asia Pacífico emerja como la región líder debido a la creciente popularidad del GLULAM como material de construcción.

Se espera que la creciente cantidad de fabricantes del producto en América del Norte y la creciente investigación y desarrollo de avances tecnológicos impulsen el mercado. Países como Canadá, EEUU, Italia, Japón, Australia y China están desarrollando rápidamente mercados para la madera laminada encolada. En el último informe publicado por Technavio, titulado *Global Glue Laminated Timber Market 2020-2024*, se indica un crecimiento neutral en el corto plazo a medida que se extiende el impacto comercial de COVID-19 y destaca los siguientes aspectos en el mercado de la madera laminada encolada (*Businesswire*, 2020):

- Se espera que el mercado registre una tasa de crecimiento interanual del 4,47%.
- Basado en la segmentación por aplicación, el mercado experimentó un crecimiento máximo en el segmento residencial en 2019. Esto se debe al uso extensivo de madera laminada encolada en la fabricación de una amplia gama de vigas y columnas, incluidas vigas rectas, vigas cumbreras, pisos, vigas curvas, columnas redondas, columnas cuadradas y varios otros tipos de arcos y soportes.
- El 37% del crecimiento se originará en Europa, impulsado por el consumo y adopción de materiales sostenibles en la industria de la construcción y muebles.

En el ámbito de la construcción, la madera laminada encolada es usada para la fabricación de vigas, pilares, pérgolas, techos, pasillos, escaleras, paneles y revestimientos. Además, permite producir formas arqueadas o curvas.

La fabricación de este producto se inicia con la clasificación de la madera, previamente sometida a controles de calidad y humedad, después las piezas de madera se unen mediante uniones dentadas o *finger-joints*. Las piezas encoladas son dispuestas en prensas donde la aplicación de una presión mecánica asegura el encolado.

En Chile numerosas edificaciones han utilizado la madera laminada encolada en su construcción, algunas desarrolladas durante los años 30 y 60, las cuales usan como referente las estructuras Zollinger, desarrolladas en 1918 por Friedrich Zollinger; entre ellas se puede mencionar el aserradero experimental de 12 marcos, construido en Concepción y usado en la actualidad por la Universidad del Bio Bio, la capilla del colegio Padres Franceses de Viña del Mar, la ex sede del Instituto Forestal, ubicada en la comuna de La Reina, durante los años 1969 a 1972, y más recientemente la cubierta del nuevo edificio del Paso Los Libertadores.





(Fotos archivo INFOR)

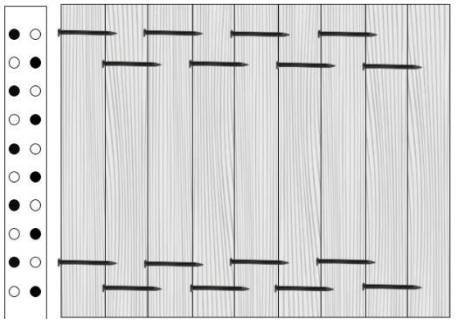
Figura N° 6
NUEVO EDIFICIO DEL PASO LOS LIBERTADORES

2.1.3. Madera Laminada con Pasadores

Bajo este concepto se encuentran dos tipos de productos que corresponden a elementos de madera laminada unida con elementos metálicos o tarugos de madera.

- **Madera Laminada con Clavos – NLT**

Este producto consiste en una serie de tablones de madera unidos mediante clavos o tornillos para formar un elemento estructural sólido. Normalmente el patrón de clavado consta de dos filas donde el espaciado entre ellos debe diseñarse para resistir el movimiento de cizalle, usualmente a no más de 300 mm de distancia. Los clavos en una las filas están espaciados a medio camino respecto de la otra fila, creando un patrón en zig-zag como se muestra en la Figura N° 7 (*Naturallywood*, 2020b).



(Fuente: Elaboración propia)

Figura N° 7
DIAGRAMA CONFIGURACIÓN NLT

Mencionado en varias publicaciones como el producto *Mass Timber* más antiguo, este producto se ha utilizado en estructuras durante más de 150 años. En América del Norte numerosos edificios históricos incorporaron paneles de NLT para construir fábricas y almacenes, por ejemplo, el *Butler Building* (Minneapolis) construido en 1906 y en el cual se usaron postes y vigas sólidas con paneles de piso NLT para crear un marco estructural robusto.

Los tableros de puentes desde la década de 1920 hasta mediados del sesenta estaban hechos de paneles transversales de NLT, sin embargo, se declinó su uso con el auge del acero y el hormigón. Hoy en Europa aún se pueden encontrar ejemplos de edificios residenciales y estructuras en las que se aplica el NLT con fines estructurales y arquitectónicos (Natterer, 2002). En la década de 1970, Julius Natterer, famoso ingeniero maderero suizo, reintrodujo el concepto de NLT (conocido como *Brettstape*l) en Europa. El ingeniero visualizó importantes ventajas, entre ellas:

- Producto que cualquier persona podía fabricar (fácil adopción en Europa).
- La naturaleza del producto permitía el uso de madera de baja calidad, lo que significaba que era una forma asequible de construir estructuras sólidas y respetuosas con el medio ambiente.
- La clasificación de la madera garantizaba que los nudos y los defectos encontrados en los postes nunca se colocaran uno al lado del otro.

En su momento, lo “artesano” del método de fabricación incluía que los clavos fuesen puestos al azar y se presentaban desventajas al momento de modificar los elementos. Con la introducción de GLT, los tableros de puentes de NLT han disminuido por considerarse no adecuados para proporcionar resistencia estructural.

Actualmente, ~~y~~ *Structurlam* está haciendo nuevamente conocida la tecnología NLT, presentándose como una alternativa más económica y rápida en términos de tiempos de construcción a un producto de la misma familia *Mass Timber*. El NLT, además, está aprobado por los códigos de construcción tanto en Canadá como en los EEUU (NBCC e IBC). (Treehugger, 2018)

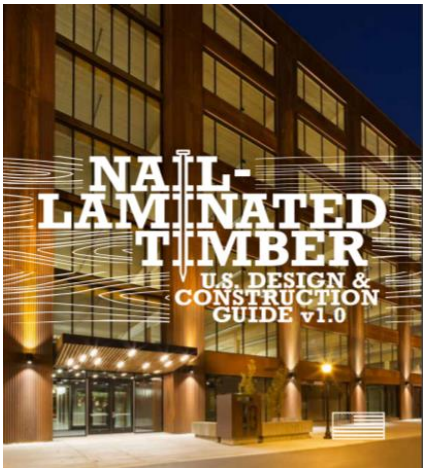
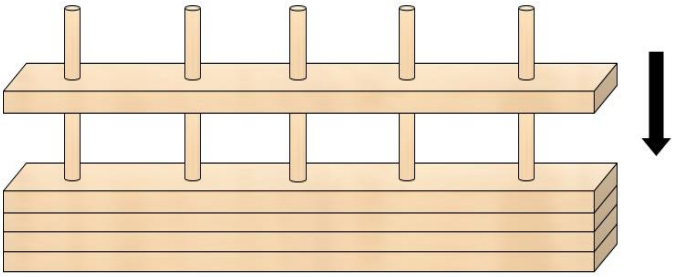


Figura N° 8
PORTADA NAIL-LAMINATED TIMBER DESIGN GUIDE

El documento *Nail-laminated Timber Design Guide* de Canadá fue lanzado para su descarga gratuita y para cualquier persona que quiera incorporar en su trabajo de diseño o construcción la madera laminada con clavos (*Woodworks*, 2018)

- **Madera Laminada con Tarugos – DLT**

El formato *Brettstapel* se utilizó hasta la década del noventa. Una empresa alemana desarrolló el sistema *Dübelholz*, madera con tarugos. Este nuevo producto reemplaza el uso de las uniones metálicas por tarugos de madera, siendo ahora un producto 100% de madera.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura N° 3
DIAGRAMA CONFIGURACIÓN DLT

Este producto utiliza la variación del contenido de humedad entre las piezas y los tarugos para fijar la unión de los elementos. Los tablones de madera blanda se secan hasta un contenido de humedad del 12-15% y los tarugos de madera dura se secan hasta un contenido de humedad del 8%.

Cuando se combinan los dos elementos, el contenido de humedad diferente hace que los tarugos se expandan hasta lograr una humedad de equilibrio, situación que permite unir tablones de buena forma.

Sin embargo, en la practica la exposición a variaciones excesivas de temperatura o humedad pueden resultar en contracción y expansión y, potencialmente, separar los elementos a lo largo del eje de los tarugos. Esto compromete la resistencia y muchas veces el problema tiende a resolverse reintroduciendo pegamento o clavos entre los tablones, pero ya no es 100% madera (*Brettstapel*, 2010) (*WoodDesigns&Building*, 2018).

Para solucionar este problema, aproximadamente en el año 2001, una compañía austriaca desarrolló un sistema para insertar tarugos de madera en ángulo a través de los postes en formaciones en *'V'* y *'W'*. Esto proporciona un sistema de unión más rígido y prácticamente elimina la posibilidad de que se abran espacios de movimiento entre los tablones, garantizando una vez más, un producto 100% madera (*Brettstapel*, 2010).

En la actualidad siguen desarrollándose investigaciones alrededor del DLT. En 2016 y a través de un proyecto financiado por la UE titulado *Adhesive Free Timber Buildings* (Nweurope, 2016),

se aborda el uso excesivo de adhesivos tóxicos en la fabricación de productos de ingeniería en madera (EWP) por la industria de la construcción.

De esta forma, mediante una cooperación conjunta entre la universidad, la industria y el sector público, se espera desarrollar nuevos EWP sin adhesivos utilizando nuevas tecnologías, proporcionar confianza en las propiedades estructurales de los EWP sin adhesivo, fomentar y permitir la aceptación del mercado en el noroeste de Europa y al mismo tiempo generar productos 100% reutilizables y reciclables.

En el año 2018 se adquiere una evaluación técnica europea para un producto de madera laminada con pasadores bajo el nombre comercial de THOMA Holz100. Este producto comprende paneles de madera en las direcciones longitudinal, transversal y diagonal fijadas con pasadores y se utilizan actualmente como elemento estructural en paredes.

Respecto a su producción, actualmente se conoce a cerca de 20 empresas fabricantes localizadas en Austria, Alemania, Suiza y, más recientemente, Noruega. Si bien la mayoría de las empresas solo construyen cerca de sus fábricas, algunas exportan a los Estados Unidos.

El desarrollo de la madera laminada con tarugos también está aumentando en América del Norte, donde en el año 2017 *StructureCraft* instaló la primera planta de producción de DLT. Esta línea de maquinaria DLT de alta capacidad y totalmente automatizada es la más rápida y de mayor capacidad en todo el mundo (*StructureCraft,* 2018).

En su interés de promover el uso de este producto *StructureCraft* ha puesto a disposición el documento *Dowel Laminated Timber, Desing and Profile Guide*. Esta guía, mejorada y revisada, es una ayuda en el proceso de diseño de los proyectos con DLT y proporciona información útil para los diseñadores, incluidas tablas de tramos, detalles de conexión, perfiles disponibles y propiedades estructurales.

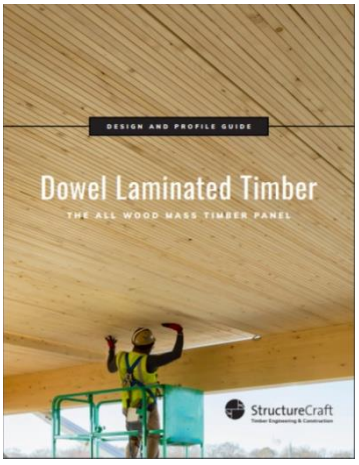


Figura N° 10
PORTADA *DOWEL LAMINATED TIMBER, DESING AND PROFILE GUIDE*, EDICIÓN 2019

2.2. Madera Compuesta Estructural - SCL

El otro gran grupo de EWP son los SCL, *Structural Composite Lumber* o Madera Compuesta Estructural. La definición del producto SCL en Norteamérica se especifica en ASTM D5456 (ASTM, 1999).

Esta familia de productos es el resultado de la nueva tecnología y la presión económica por usar nuevas especies y árboles más pequeños, de menores diámetros, que no se pueden utilizar para producir madera aserrada, y se caracterizan por ser fabricados mediante la unión adhesiva de chapas u hojuelas de madera.

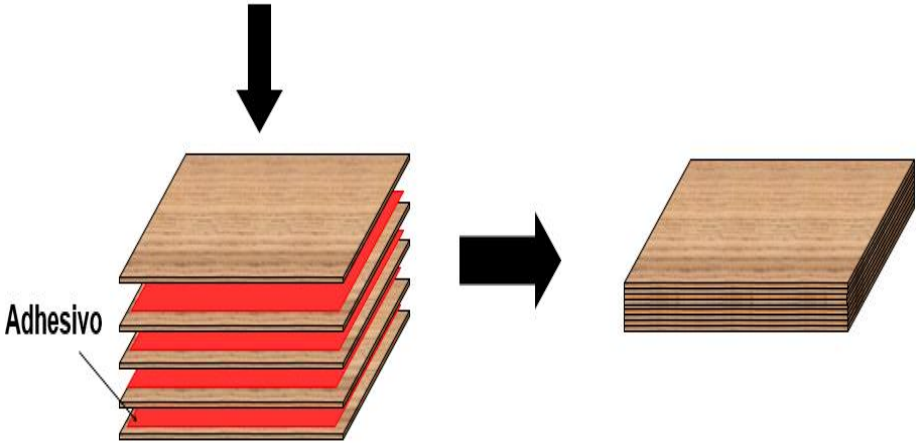
Una de las principales ventajas del uso de SCL es que ofrece un material que permanece estable y es mucho menos propenso a deformarse, partirse o encogerse en comparación con la madera aserrada.

Los productos SCL también pueden soportar cargas mayores que el equivalente en madera aserrada (*Woodsolutions*, 2011).

2.2.1. Madera Laminada de Chapas - LVL

Fabricada mediante la unión de múltiples capas de chapas unidas con adhesivos con temperatura y presión, además, la fibra de todas las chapas es paralela a la dirección longitudinal y luego se corta en las dimensiones deseadas según la aplicación de uso final.

Los productos LVL se utilizan para aplicaciones estructurales permanentes que incluyen vigas, dinteles, vigas de celosía y encofrados, actualmente se ha expandido a nuevas capacidades de producción y se puede utilizar para vigas, columnas e incluso paneles grandes.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura N° 4
DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN LVL

En Norteamérica, la forma actual de este producto se remonta a la década de 1970 y a la investigación y el desarrollo de vigas de madera enchapadas realizada por Peter Koch y el laboratorio del *USDA Forest Products.* Esta investigación concluyó que el LVL y la madera aserrada alcanzan el mismo valor medio de la resistencia a la flexión, pero el valor característico de LVL es dos veces más alto.

A nivel industrial, la primera solución comercial para la fabricación LVL fue creada por Al Troutner de la empresa *Trus-Joist* (Weyerhaeuser) denominada *Micro-Lam*®, aunque la madera laminada de chapas con adhesivo se usaba desde mediados del siglo XIX a pequeña escala para muebles y pianos, Troutner fue el primero en desarrollar una madera de chapa laminada a una escala lo suficientemente grande para usarse en la construcción.

En 1975, la empresa finlandesa *Metsäliiton Teollisuus Oy* (hoy *Metsä Wood*) desarrolló la primera línea de producción en Europa. *Metsä Wood* pasó a desarrollar su propio concepto de fabricación, que fue desarrollado por otra empresa finlandesa, *Raute Oyj*, que hoy es el principal proveedor de maquinaria LVL en todo el mundo.

Actualmente *Metsä Wood* comercializa el producto bajo el nombre de *Kerto® LVL.*

La producción de LVL crece continuamente y hoy este producto se fabrica en más de diez países en cuatro continentes, que en conjunto poseen una capacidad de producción total de alrededor de 4 millones de metros cúbicos por año (*Metsawood*, 2014)

Cuadro N° 1
FABRICANTES ACTIVOS Y PRODUCCIÓN GLOBAL DE LVL

Zona	**Fabricantes (N°)**	**Capacidad de Producción (Miles m^3/año)**
Europa	10	780
Norteamérica	6	2.540
Asia y Oceanía	7	580

(Mentsawood, 2020)

En septiembre de 2019 se publica el Manual Europeo LVL (Metsawood, 2020). Esta publicación corresponde a un primer resumen compilado y publicado por la industria de la madera de las propiedades y usos finales de los productos LVL.

Este manual es una amplia fuente de información para diseñadores, ingenieros y constructores. Participaron de esta publicación las empresas *Metsä Wood, Stora Enso Wood Products* y *Raute Oyj,* y está disponible para su descarga gratuita desde la web de *Metsä Wood*.

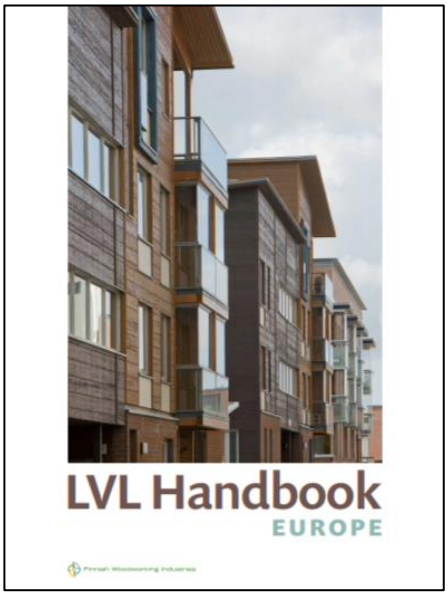


Figura N° 12
PORTADA MANUAL EUROPEO LVL

2.2.2. Madera de Hojuelas Paralelas - PSL

La madera de hojuelas paralelas (PSL) es un producto estructural fabricado con largas hojuelas delgadas (típicamente 3,2 mm de espesor, 20 mm de ancho y hasta 3 m de largo) de chapas de madera. Las hojuelas están orientadas de modo que sean principalmente paralelas al eje longitudinal de la sección antes de ser recubiertas con adhesivo, pasar por una prensa continua y finalmente ser curadas con microondas (*StructuralTimber*, 2014)

El concepto PSL se eliminó en 1975 cuando un equipo de investigadores de *MacMillan Bloedel*, considerada la empresa canadiense leyenda en materia de elementos estructurales de madera, se propuso producir un material a base de madera de alta resistencia, dando paso a *Parallam*®, registrado por *MacMillan Bloedel* en la Oficina de patentes el 19 de noviembre de 1985 con el Nº 734 856 57. La primera planta de PSL se completó en 1982 con la primera venta comercial del producto.

A lo largo de los años, el proceso se ha mejorado para hacer vigas más grandes y largas, y la producción y las ventas se han recuperado de manera constante. Weyerhaeuser posee la patente del proceso de producción y actualmente solo hay dos plantas que lo utilizan, la planta de Weyerhaeuser en Delta, Columbia Británica, y una en Buckhannon, Virginia Occidental. El *Parallam*, o PSL en general, ha tenido una vida de éxitos. En sus dos formatos, como perfil estructural y como tablero, puede sustituir con éxito a la madera aserrada estructural y a los tableros estructurales, si bien su elevado precio ha limitado algo su expansión.

En una entrevista con motivo del 25° aniversario del *Parallam*, Carlos Guilherme vicepresidente de productos de madera de ingeniería de Weyerhaeuser se refiere al producto y a su papel en la industria de la construcción en madera indicando que “los ingenieros y científicos inventaron

un nuevo producto que tomó un gran material de construcción, la madera, y lo hizo aún mejor", además señaló que "la invención de Parallam PSL fue uno de esos avances en materiales de construcción que ocurren tal vez una o dos veces en una generación" (TTJI, 2011)

Cuadro N° 1
PROYECTOS QUE UTILIZAN PARALLAM

Proyecto	Ubicación	Año (Proyecto Terminado)
Fachada teatro Arena Stage	Washington DC, USA	2010
Techo biblioteca Lafayette	Lafayette CA, USA	2009
Techo del centro marino de Bamfield	Bamfield BC, Canadá	2004
Acuario de Vancouver – Pabellón del Pacífico de Canadá	Vancouver BC, Canadá	1999
Surrey Central City – Fachada del atrio	Surrey BC, Canadá	2002
Compañía de bomberos N° 15 de Vancouver	Vancouver BC, Canadá	2011
Pabellón de exhibición de Concord Pacific	Vancouver BC, Canadá	2000

(StructureCraft, 2017)

2.2.3. Madera Laminada de Hojuelas – LSL

Este producto se fabrica cortando hojuelas directamente de los troncos descortezados, uniéndolas mediante adhesivos y orientándolas en la dirección paralela al eje longitudinal de la sección antes de formar el elemento sólido. Es similar en apariencia al OSB (*Oriented strand board* o tablero de hojuelas orientadas), pero la diferencia está dada por la orientación de las hojuelas.

Se distinguen dos tipos de LSL, tableros donde las hojuelas están alineadas en la dirección del eje mayor del producto y tableros donde una porción de las hojuelas está alineada en la dirección del eje menor del producto. Los primeros son adecuados para uso como vigas, antepechos, columnas, y otros, y los segundos para uso como paredes, pisos y techos (*EuropeanWood*, 2019).

Una de las ventajas de este producto es que permite el uso de árboles de diámetro pequeño, que no son lo suficientemente fuertes o rectos por sí mismos para tener un valor estructural como los productos de madera aserrada convencional, además, la producción de LSL puede utilizar todas las partes del árbol, generando así menos residuos forestales en su fabricación.

El único producto LSL ampliamente disponible en el mercado es una marca registrada con el nombre de *TimberStrands*® LSL y su proceso de fabricación patentado se introdujo por primera vez en el mercado de la construcción estructural en 1986 (Craig and Abdullahi, 2016).

Las aplicaciones estructurales típicas del LSL incluyen el uso como vigas, cabeceras, dinteles, vigas de piso y techo, columnas, bridas de viguetas en I y tableros de borde para la

construcción de marcos ligeros. Las aplicaciones industriales incluyen el uso en la fabricación de muebles, ventanas, y puertas.

CONCLUSIONES

Los productos de ingeniería en madera revisados en este documento nacen de la constante inversión en investigación, desarrollo y adaptación de la industria forestal-maderera a los constantes cambios y demandas de la industria de la construcción y de las políticas ambientales de los países. No es casualidad que los países con amplia tradición en construcción con madera, sean los que lideran la producción y el desarrollo en I+D+i de estos productos.

Uno de los puntos importantes a destacar es la promoción y difusión de estos elementos, que en Norteamérica y Europa se desarrolla de manera trasversal, desde el arquitecto y diseñador hasta el consumidor final. Estos países no solo trabajan en los temas normativos, sino también en incluir a las comunidades y presentar las diversas ventajas que poseen las construcciones con madera asociadas al concepto biofilico.

Una de las grandes ventajas que permiten los productos de ingeniería en madera, ya sean *Mass Timber* o SCL, es la opción de prefabricar fuera del sitio de construcción paneles, vigas, columnas, y otros, y luego llegar a este con una estructura pre-armada, permitiendo así ahorros importantes en los tiempos de construcción, personal y en la generación de residuos.

Chile por su parte, y con algunas experiencias en el pasado, está nuevamente impulsando algunos proyectos con estos materiales, GLULAM y CLT.

REFERENCIAS

ASTM, 1999. ASTM Specification for evaluation of Structural Composite Lumber, D5456-98. American Book of ASTM Standards vol. 04.10. American Standard for Testing and Materials Philadelphia Section 4.

Brettstapel, 2010. What is Brettstapel ?.
En: http://www.brettstapel.org/Brettstapel/What_is_it.html (Consulta octubre 2020)

Businesswire, 2020. Glue Laminated Timber Market to Grow by $ 1.57 Billion Amid Ongoing Recession | Europe to Offer Maximum Opportunities During 2020-2024| Technavio.
En: https://www.businesswire.com/news/home/20201127005166/en/ (Consulta noviembre 2020)

CChC, 2019. Cámara Chilena de la Construcción: "Déficit habitacional: Un desafío pendiente". En: https://www.cchc.cl/2019/deficit-habitacional (Consulta octubre 2020)

Craig, B. A. and Abdullahi, A. A., 2016. Lumber: Engineered-Strand. Materials Science and Materials Engineering. Elsevier

Espinoza, O.; Trujillo, V. R.; Mallo, M. F. L. and Buehlmann, U., 2016. Cross-laminated timber: Status and research needs in Europe. *BioRes.* 11(1), 281-295.

EuropeanWood, 2019. Laminated Strand Lumber (LSL)
En: https://www.europeanwood.org.cn/en/laminated-strand-lumber (Consulta octubre 2020)

Forest History Society, 2018. October 15, 1934: Glued Laminated Timber Comes to America. En: https://foresthistory.org/october-15-1934-glued-laminated-timber-comes-to-america/ (Consulta septiembre 2020)

FPInnovations, 2019. Canadian CLT Handbook

FSC Chile, 2015. Bosques para Todos para Siempre. Superficie Certificada-FSC Chile. En: https://cl.fsc.org/es-cl/certificacin/superficie-y-empresas-cetificadas-en-chile (Consulta julio 2020).

Growing Buildings, 2017. Construcción y Emisiones de CO_2 a la Atmosfera. Growing Buildings. En: https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/ (Consulta agosto 2020).

La Tercera, 2019. Los edificios de maderas más grandes del mundo. En: https://laboratorio.latercera.com/laboratorio/noticia/edificios-madera-mas-grandes/707144/ (Consulta septiembre de 2020)

Lowe, G., 2020. Well-being and Performance: The Human and Organizational Benefits of Wood Buildings. En: https://grahamlowe.ca/general/wood-well-being-and-performance-the-human-and-organizational-benefits-of-wood-buildings/ (Consulta en octubre 2020)

Madera 21, 2018. Resistencia al Fuego: Desafíos de la Futura Norma de Cálculo para Estructuras de Madera. CORMA. En: https://www.madera21.cl/resistencia-al-fuego/ (Consulta julio de 2020).

Madera 21, 2019. El edificio Mjøstårnet en Noruega se convierte en la torre de madera más grande del mundo. CORMA. En: https://www.madera21.cl/mjostarnet-en-noruega-la-torre-de-madera-mas-grande-del-mundo/

Metsawood, 2014. Laminated Veneer Lumber – Kerto LVL .
En: https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/kerto-for-load-bearing-structures-english.pdf (Consulta en octubre 2020)

Metsawood, 2020. European LVL HandBook. En: https://www.metsawood.com/global/Tools/European-LVL-Handbook/Pages/European-LVL-Handbook.aspx.

Mohammad, M.; Gagnon, S.; Douglas, B. K. and Podesto, L., 2011. Introduction to Cross Laminated Timber. WOOD DESIGN FOCUS V. 22, N. 2

Natterer, J. K., 2002. New technologies for engineered timber structures. Progress in Structural Engineering and Materials, 4: 245–263.

Naturallywood, 2020a. Mass Timber and Taller Wood Construction. En https://www.naturallywood.com/topics/mass-timber/ (consulta en septiembre 2020)

Naturallywood, 2020b. Nail Laminated Timber. En: https://www.naturallywood.com/products/what-is-nail-laminated-timber/ (cosnulta en septiembre 2020).

NRC, 2019. The Tall Building Demonstration Initiative (TWBDI). National Research Council Canada. Natural Resources Canada. En: https://www.nrcan.gc.ca/science-data/funding-partnerships/funding-opportunities/forest-sector-funding-programs/expanding-market-opportunities-p/tall-wood-building-demonstration-initiative-twbdi/20176 (Consulta en junio 2020).

Nweurope, 2016. Towards Adhesive-Free Timber Buildings (AFBT). En https://www.nweurope.eu/projects/project-search/towards-adhesive-free-timber-buildings-aftb/ (Consulta octubre 2020)

Planet Ark, 2019. Make it Wood. The Benefits of Wood. Australia. En: https://makeitwood.org/benefits/ (Consulta en julio de 2020).

Russell C. Moody and Roland Hernandez, 1997. Glued Laminated Timber. En: Smulski, Stephen, ed., Engineered wood products-A guide for specifiers, designers and users. ISBN-096556736-0-X. Madison, WI: PFS Research Foundation: pp. 1-1–1-39. Chapter 1.

Stora Enzo, 2020. Stora Enso invests in cross laminated timber (CLT) production in Czech Republic. En: https://www.storaenso.com/en/newsroom/regulatory-and-investor-releases/2020/9/stora-enso-invests-in-cross-laminated-timber-clt-production-in-czech-republic?prid=7c7df97b9cc69d92 (consulta septiembre 2020)

StructuralTimber, 2014. Engineered wood products and an introduction to Timber Structural Systems. En: http://www.structuraltimber.co.uk/assets/InformationCentre/timberframeeb2.pdf (Consulta octubre 2020)

StructureCraft, 2017. Projects that use Parallel Strand Lumber. En: https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/parallel-strand-lumber (Consulta octubre 2020)

StructureCraft, 2018. Dowel Laminated Timber Design Guide & Profile Handbook.

Thinkwood, 2018. Seismic Stability. En: https://www.thinkwood.com/performance/seismic-stability (Consulta julio 2019).

Timber Industry News, 2020. Global CLT production expected to double by 2025. En: https://www.timberindustrynews.com/global-clt-production-expected-double-2025/ (Consulta en noviembre 2020)

TRADA Technology, 2009. Case Study. Stadthaus, 24 Murray Grove, London Eight storeys of apartments featuring cross-laminated timber panels. En: https://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray_grove_case_study.pdf (Consulta 20 de julio de 2019)

Treehugger, 2018. The old is new again with Nail Laminated Timber. En: https://www.treehugger.com/old-new-again-nail-laminated-timber-4857648 (Consulta septiembre 2020)

TTJI, 2011. Parallam celebrates 25th Anniversary. En: http://www.ttjonline.com/News/parallam-celebrates-25th-anniversary-700/ (consulta en octubre 2020)

UBB, 2020. Primer Edificio Construido en su Totalidad de CLT en Chile. (2020). En: http://farcodi.ubiobio.cl/reportajes-y-articulos/2020/04/23/primer-edificio-construido-en-su-totalidad-de-clt-en-chile/

UN, 2018. WorldUrbanization Prospects The 2018 Revision
En: https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf (Consulta julio 2020)

WoodDesigns&Building, 2018. Dowel Laminated Timber. A new mass Timber product in North America. En: http://www.wooddesignandbuilding.com/dowel-laminated-timber/ (consulta en octubre 2020)

Woodsolutions, 2011. Structural Composite Lumber SCL.
En: https://www.woodsolutions.com.au/wood-product-categories/structural-composite-lumber-scl (Consulta septiembre 2020)

Woodworks, 2018. Nailed it! Introducing the design guide for nail-laminated Timber. En https://www.woodworks.org/wp-content/uploads/17WS13-LUTHI-Structural-Design-NLT-WS-180307.pdf



www.infor.cl