



Paneles de Madera Cruzada (CLT)

Authored by Henry Quesada, Professor and Extension Specialist; Sailesh Adhikari, Research Associate, and Robert Smith, professor. Department of Sustainable Biomaterials, Virginia Tech.

¿Qué son los paneles de madera cruzada (CLT)?

Paneles de madera cruzada o CLT (del inglés Cross-laminated Timber) se forman usando madera sólida o compuesta en capas donde los elementos de cada capa se colocan a 90 grados una de la otra. Un número impar de capas, de 3 a 7 por panel, es el formato de fabricación más común. Algunas empresas europeas usan hasta 9 capas. Pegamento, clavos, o clavijas de madera se usan para sujetar las láminas o capas de los paneles CLT.

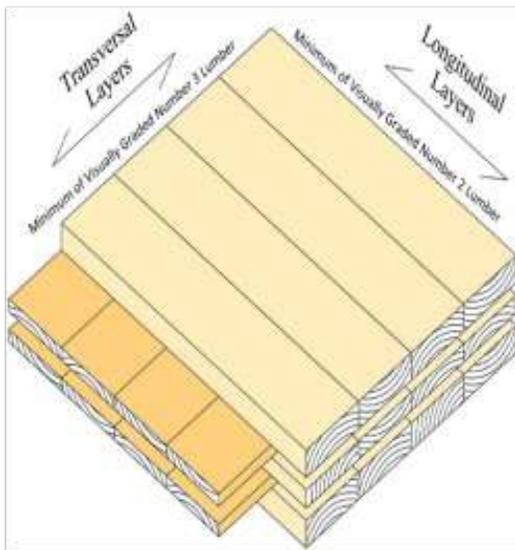


Figura 1. Configuración de un panel CLT para uso estructural (Fragiacomo et al., 2012).

Historia

Los paneles CLT se inventaron en la primera parte de la década de 1990 en la parte central de Europa y esta invención se considera un material de construcción alternativo para edificaciones de mediano (5 pisos) a gran tamaño (15 pisos). Basado en sus distintos usos, hay dos tipos de paneles CLT: uso estructural y no-estructural. Los paneles CLT de uso estructural son para la construcción de casas y

edificios y el criterio de manufactura está regulado en Canadá y EEUU por el estándar APA-PRG 320. Los paneles CLT no-estructurales se pueden fabricar de cualquier especie maderable y estos se diseñan y fabrican de acuerdo a especificaciones de los clientes o usuarios. Los paneles CLT para uso no-estructural se usan como alternativa a las esteras de madera tradicional fabricadas con tornillos. Este tipo de estera se usa para proteger los suelos en proyectos de construcción de edificios o energía que usan equipo rodante pesado. El Cuadro 1 muestra una lista de los fabricantes más importantes de paneles CLT en los EEUU.

Cuadro 1: Lista de algunos fabricantes de paneles CLT en EEUU

| Nombre de la empresa | Ciudad | Estado | Tipo de panel CLT |
|----------------------|----------------|--------|------------------------------|
| Dr Johnson | Riddle | OR | Estructural y no-estructural |
| SmartLAM | Columbia Falls | MT | Estructural y no-estructural |
| SmartLAM | Dothan | AL | Estructural y no-estructural |
| Freres Lumber | Lyons | OR | Estructural y no-estructural |
| Sterling | Phoenix | IL | Solo no-estructural |
| Sterline | Lufkin | TX | Solo no-estructural |

| | | | |
|--------------------|----------------|----|------------------------------|
| Spartan Mat | Peach Bottom | PA | Solo no-estructural |
| Structurlam | Conway | AR | Estructural y no-estructural |
| Mercer Mass Timber | Spokane Valley | WA | Estructural y no-estructural |
| Vaagen Timbers | Colville | WA | Estructural y no-estructural |
| Texas CLT | Magnolia | AR | Estructural y no-estructural |
| Viking Mat Company | Eden Prairie | MN | Solo no-estructural |
| Yak Mat | Columbia Falls | MS | Solo no-estructural |

El estándar de paneles CLT para Canadá y EEUU

En Canadá y EEUU, los fabricantes de paneles CLT solo califican para producir paneles CLT estructurales si han sido certificados a través del estándar APA-PRG 320. La asociación de ingeniería de la madera (Engineered Wood Association en inglés) otorga la calificación o certificación para cada fabricante. Cada fabricante debe certificar tanto el proceso de producción como el producto para poder producirlo comercialmente para el caso de paneles CLT estructurales.

Requerimientos de la madera a usar

La madera aserrada para la fabricación de paneles estructurales CLT debe ser de especies de coníferas que tengan una gravedad específica de 0.35. El comité de estándares americano para la madera (ALSC por sus siglas en inglés) indica que las especies de coníferas incluidas en el estándar PS 20 son las únicas que se deben usar para la manufactura de paneles estructurales CLT. La madera aserrada a usar en paneles estructurales CLT debe tener un

contenido de humedad del 12+-3%. Las capas de los paneles CLT que van paralelas a las capas exteriores deben tener una calificación de al menos grado Número 2 y las que van colocadas en forma perpendicular una calificación Número 3. El grosor de cada capa debe ser de 15.9 mm a 50.8 mm. El ancho más común va de 60.96 mm a 241.3 mm. El Cuadro 2 muestra las configuraciones aprobadas para paneles estructurales CLT y el Cuadro 3 muestra la lista de las especificaciones técnicas para cada configuración tal y como aparecen en el estándar APA-PRG 320.

Cuadro 2: Grados de paneles estructurales aprobados en el estándar APA-PRG 230

| Grado de panel CLT | Detalles del grado o especificación |
|--------------------|---|
| E1 | 1950f-1.7E Grado de madera en máquina (MSR, siglas en inglés) Spruce-Pine-Fir (SPF) en todas las capas paralelas y No. 3 SPF en todas las capas perpendiculares |
| E2 | 1650f-1.5E MSR Douglas Fir-Larch en todas las capas paralelas y No. 3 Douglas Fir-Larch en todas las capas perpendiculares |
| E3 | 1200f-12E MSR, Northern Species, Eastern Softwoods or Western Woods en todas las capas paralelas y No. 3, Northern Species, Eastern Softwoods or Western Woods en todas las capas perpendiculares |
| E4 | Todas las capas paralelas: 1950f - 1.7E MSR Southern pine y todas las capas perpendiculares: No. 3 Southern pine |
| E5 | Todas las capas paralelas: 1950f - 1.7E MSR Hem-fir y todas las capas perpendiculares: No. 3 Hem-fir |
| V1 | Todas las capas paralelas: No. 2 Douglas Fir-Larch y todas las capas perpendiculares: No. 3 |

| | |
|-------|--|
| | Douglas Fir-Larch |
| V1(N) | Todas las capas paralelas: No. 2 Douglas Fir-Larch (Norte) y todas las capas perpendiculares: No. 3 Douglas Fir-Larch (Norte) |
| V2 | Todas las capas paralelas: No. 1/No. 2 SPF y todas las capas perpendiculares: No. 3 SPF |
| V3 | Todas las capas paralelas: No. 2 Southern pine y todas las capas perpendiculares: No. 3 Southern pine |
| V4 | Todas las capas paralelas: No. 2 SPF y todas las capas perpendiculares: No. 3 SPF |
| V5 | Todas las capas paralelas: No. 2 Hem-fir y todas las capas perpendiculares: No. 3 Hem-fir |
| S1 | 2250f-1.5E Madera de chapa laminada (LVL) in todas las capas longitudinales y transversales |
| S2 | 1900f-1.3E Madera de fibra laminada (LSL) in todas las capas longitudinales y transversales |
| S3 | 1750f-1.3E Madera de fibra orientada (OSL) in todas las capas longitudinales y transversales |

Fabricación de paneles CLT

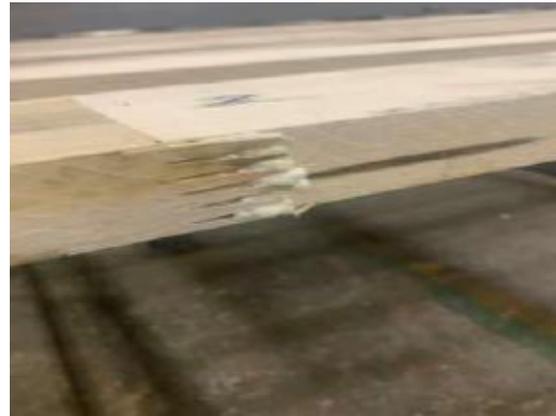


Figura 2. Junta o articulación de dedos

El proceso de producción de paneles CLT empieza con una revisión de calidad de la madera aserrada con respecto a las dimensiones, contenido de humedad, y la calificación. El siguiente paso es unir las láminas o lamelas individuales usando uniones dedo (Figura 2). Después de unir las lamelas, la madera se debe cepillar en las cuatro caras para asegurar que el ancho y grosor son los requeridos así como cortar las lamelas al largo requerido de acuerdo con las dimensiones paralelas y perpendiculares de las capas a fabricar (Figura 3). Los paneles son ensamblados usando técnicas similares a la fabricación de plywood o chapa de madera donde la primera capa se configura en forma paralela y una máquina aplica el adhesivo para luego colocar la siguiente capa que va en forma perpendicular. Ver Figura 4.



Figura 3. Madera cortada a lo largo después del proceso de unión de dedos.

Después de aplicar el adhesivo y configurar las capas, cada panel se lleva a una prensa para formar el panel. La fuerza de la prensa debe cumplir con las especificaciones del adhesivo y de la especie de madera que se están usando. Es esencial que la prensa distribuya la fuerza del prensado de forma uniforme sobre todo el panel para garantizar un adherido efectivo de las lamelas.

Los paneles CLT salen de la prensa con un exceso de pegamento en el filo de los paneles por lo que se requiere remover este exceso. Finalmente, los paneles se llevan al proceso de acabado donde se cepillan y se reparan imperfecciones si fuera el caso. El último paso es el maquinado de los paneles que podría requerir dimensionado, fresado o taladrado para cumplir con las especificaciones del cliente, ver Figura 6. Una vez terminado el maquinado, los paneles deben ser etiquetados individualmente. Esta rotulación es fundamental para poder embarcar y armar los paneles en el sitio de construcción de forma efectiva y eficiente. Por lo general se utilizan empaques especiales para proteger los paneles de las condiciones ambientales durante el embarque y esperas en el sitio de construcción.

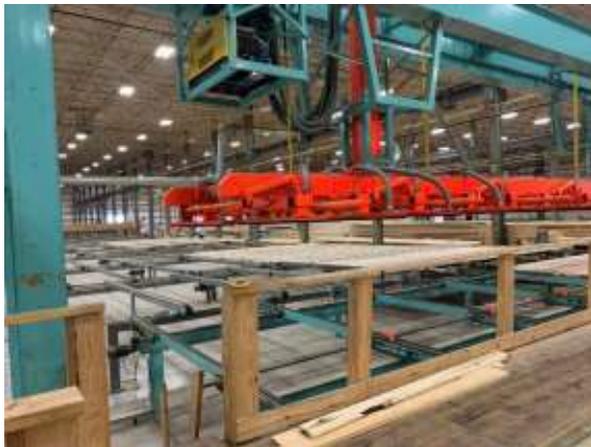


Figura 4. Sistema de apilado por vacío para configurar las capas de paneles CLT

Ventajas de los paneles CLT

La naturaleza sostenible de la madera debido a la característica de secuestro de carbono y mínimo uso de energía en su fabricación es una de las mayores ventajas ambientales de los paneles CLT comparado con acero y concreto. Algunos estudios indican que se podría reducir el impacto de calentamiento global

hasta en un 26.5% al utilizar paneles CTL en construcción en lugar de concreto y otros materiales de construcción (Vanova et al., 2021). Los paneles CLT tienen la característica de que se pueden prefabricar y además agregan elementos de flexibilidad. Esto permite que se puedan agregar aberturas para ventanas, puertas, y los elementos eléctricos y mecánicos requeridos en la construcción. La construcción basada en paneles CLT ayuda a reducir la mano de obra en el sitio de la construcción. Se estima que los tiempos de construcción se pueden reducir hasta en un 20% comparado con construcción en concreto. La construcción con paneles CLT también ayuda a reducir el desperdicio en el sitio de construcción debido a la prefabricación de los paneles.



Figura 5. Panel de CLT siendo retirado de la prensa y listo para maquinado en máquina CNC

Los paneles CLT tienen una conductividad térmica de 0.13 W/mK , que es mejor que las estructuras hechas en acero y el concreto. Esto provee de mejores propiedades de aislamiento. Además, los paneles CLT ofrecen excelentes características de estabilidad y rigidez estructural.

La configuración cruzada de las capas de los paneles CLT ofrece una fuerza relativa alta en los planos entrantes y salientes de la estructura del panel. Esto es importante porque resulta en una capacidad de carga mayor.



Figura 6. Maquina en CNC sobre paneles CLT

La fuerza y la laminación cruzada hacen que los paneles CLT sean capaces de usarse en luces de dos direcciones tal como se hace con concreto reforzado proveyendo facilidad para transferir cargas de peso en dos direcciones estructurales. La habilidad para resistir eventos sísmicos y resistencia al fuego es una de las mayores ventajas de los paneles CLT sobre otros materiales de construcción.



Figura 7. Dalston Lane, el edificio de paneles CLT más alto del Mundo. Fuente: (Schuler Timothy A., 2018)

La naturaleza fibrosa de la madera y el tipo de conexiones de los paneles CLT provee mucha flexibilidad sísmica. Durante la exposición al fuego, se forma una capa de carbonización en la parte externa de los paneles de CLT evitando que el oxígeno entre a la parte intacta de la madera en el interior del panel. La capacidad de resistencia al fuego, depende además de las características del adhesivo en uso.

La construcción con paneles CLT resulta en edificios que tienen menor peso que sistemas tradicionales haciendo que la base y fundación del edificio requiera menos trabajo y costo.

Desventajas de paneles CLT

Actualmente los paneles CLT son más caros que los sistemas de construcción de acero y concreto. El precio depende de la necesidad de transporte, trabajo en la fundación, costo de asimilación, y el grado o calificación de panel CLT. El transporte es un costo muy significativo por lo que es menos atractivo para grandes distancias de entrega. Los sistemas de paneles CLT puede ser más efectivos para edificios de tamaño mediano y grande por lo que este sistema de construcción no es muy efectivo en relación al costo para el caso construcción residencial al comparar con el sistema tradicional de construcción usando madera sólida.

La disponibilidad limitada y grandes tiempos de espera son otras limitaciones ya que aún hay muy pocos fabricantes de paneles CLT en Canadá y EEUU. La fabricación de paneles CLT requiere de altos volúmenes de madera por lo que se está agregando presiones adicionales al mercado de la madera de la construcción.

Finalmente, el obtener valores adecuados de aislamiento acústico puede ser un problema al usar paneles CLT por lo que requiere el uso de materiales adicionales como concreto liviano para incrementar el desempeño del aislamiento acústico.

Agradecimiento

El Departamento de Biomateriales Sostenibles de Virginia Tech le agradece al Consejo de Exportación de Madera Estructural (Softwood Export Council - SEC) por proveer el financiamiento para la producción de esta ficha técnica.

Referencias

- APA-PRG 320. (2018). Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber -American Standard. www.ansi.org
- Augustus; Raymond, E. (2019, November 20). CLT - What is it and when does it make sense? — CE Solutions - Structural Engineers. <https://www.cesolutionsinc.com/blog/2019/11/20-advantages-clt-concrete-steel-cpcd5>
- Fragiacomo, M., Menis, A., Clemente, I., Bochicchio, G., & Ceccotti, A. (2012). Fire Resistance of Cross-Laminated Timber Panels

Loaded Out of Plane. Journal of Structural Engineering, 139(12), 04013018.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000787](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000787)

Schuler Timothy A. (2018). Dalston Works, the Largest CLT Building in the World | Architect Magazine.
https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/dalston-works-the-largest-clt-building-in-the-world_o

Vanova, R., Stompf, P., Stefko, J., & Stefkova, J. (2021). Environmental Impact of a Mass Timber Building—A Case Study. Forests 2021, Vol. 12, Page 1571, 12(11), 1571.
<https://doi.org/10.3390/F12111571>

Visit Virginia Cooperative Extension: ext.vt.edu

Virginia Cooperative Extension is a partnership of Virginia Tech, Virginia State University, the U.S. Department of Agriculture, and local governments. Its programs and employment are open to all, regardless of age, color, disability, gender, gender identity, gender expression, national origin, political affiliation, race, religion, sexual orientation, genetic information, military status, or any other basis protected by law.

2022

CNRE-153NP



Virginia Cooperative Extension

Virginia Tech • Virginia State University

www.ext.vt.edu

Cuadro 3: Valores de diseño para paneles CLT basados en el grado y número de capas. Adoptado de APA-PRG 320 (2018)

| Grado CLT | Capas | Valor de fuerza | | | | | | | |
|-----------|-------|--|--|--|---------------------------|--|--|--|---------------------------|
| | | Dirección mayor de fuerza | | | | Dirección menor de fuerza | | | |
| | | $(f_b S)_{eff,0}$ (10 ⁶ N - mm/m de ancho) | $(EI)_{eff,0}$ (10 ⁹ Nmm ² /m de ancho) | $(GA)_{eff,0}$ (10 ⁶ N/m de ancho) | $v_{s,0}$ (kN/m ancho) | $(f_b S)_{eff,0}$ (10 ⁶ N - mm/m de ancho) | $(EI)_{eff,0}$ (10 ⁹ Nmm ² /m de ancho) | $(GA)_{eff,0}$ (10 ⁶ N/m de ancho) | $v_{s,0}$ (kN/m ancho) |
| E1 | 3 | 42 | 1,088 | 7.3 | 35 | 1.4 | 32 | 9.1 | 12 |
| | 5 | 98 | 4,166 | 15 | 58 | 12 | 837 | 18 | 95 |
| | 7 | 172 | 10,306 | 22 | 82 | 29 | 3,220 | 27 | 58 |
| E2 | 3 | 36 | 958 | 8 | 44 | 0.94 | 36 | 8.2 | 15 |
| | 5 | 83 | 3,674 | 16 | 74 | 8.2 | 930 | 16 | 44 |
| | 7 | 146 | 9,097 | 24 | 103 | 19 | 3,569 | 25 | 74 |
| E3 | 3 | 26 | 772 | 5.3 | 30 | 0.92 | 23 | 6.4 | 10 |
| | 5 | 60 | 2,956 | 11 | 50 | 8 | 605 | 13 | 30 |
| | 7 | 106 | 7,313 | 16 | 70 | 18 | 2,325 | 19 | 50 |
| E4 | 3 | 36 | 958 | 8 | 37 | 1.4 | 36 | 8.2 | 12 |
| | 5 | 83 | 3,674 | 16 | 62 | 12 | 930 | 16 | 37 |
| | 7 | 146 | 9,097 | 24 | 87 | 29 | 3,569 | 25 | 62 |
| E5 | 3 | 15 | 1,023 | 8 | 44 | 0.94 | 36 | 8.7 | 15 |
| | 5 | 35 | 3,922 | 16 | 74 | 8.2 | 930 | 17 | 44 |
| | 7 | 61 | 9,708 | 24 | 103 | 19 | 3,571 | 16 | 74 |
| V1 | 3 | 18 | 884 | 7.2 | 35 | 1.4 | 32 | 7.5 | 12 |
| | 5 | 41 | 3,388 | 14 | 58 | 12 | 837 | 15 | 95 |
| | 7 | 72 | 8,388 | 22 | 82 | 29 | 3,213 | 23 | 58 |
| V1(N) | 3 | 17 | 1,023 | 8 | 37 | 1.4 | 36 | 8.7 | 12 |
| | 5 | 38 | 3,922 | 16 | 62 | 12 | 930 | 17 | 37 |
| | 7 | 67 | 9,708 | 24 | 87 | 29 | 3,571 | 26 | 62 |
| V2 | 3 | 51 | 1,226 | 8.9 | 43 | 6.9 | 47 | 8.9 | 14 |
| | 5 | 117 | 4,704 | 18 | 71 | 60 | 1,226 | 18 | 43 |
| | 7 | 207 | 11,647 | 27 | 99 | 138 | 4,704 | 27 | 71 |
| V3 | 3 | 43 | 1,059 | 7.7 | 49 | 5.8 | 41 | 7.7 | 16 |
| | 5 | 99 | 4,064 | 15 | 81 | 51 | 1,059 | 15 | 49 |
| | 7 | 175 | 10,064 | 23 | 113 | 116 | 4,064 | 23 | 81 |
| V4 | 3 | 0.4 | 1,059 | 7.7 | 37 | 5.4 | 41 | 7.7 | 12 |
| | 5 | 91 | 4,064 | 15 | 62 | 47 | 1,059 | 15 | 37 |
| | 7 | 161 | 10,064 | 23 | 87 | 107 | 4,064 | 23 | 62 |
| V5 | 3 | 42 | 1,088 | 7.3 | 35 | 1.4 | 32 | 9.1 | 12 |
| | 5 | 98 | 4,166 | 15 | 58 | 12 | 837 | 18 | 95 |
| | 7 | 172 | 10,306 | 22 | 82 | 29 | 3,220 | 27 | 58 |
| S1 | 3 | 51 | 1,226 | 8.9 | 43 | 6.90 | 47 | 8.9 | 14 |
| | 5 | 117 | 4,706 | 18 | 71 | 60 | 1,226 | 19 | 43 |
| | 7 | 207 | 1,647 | 27 | 99 | 138 | 4,706 | 27 | 71 |
| S2 | 3 | 43 | 1,059 | 7.7 | 49 | 5.80 | 41 | 7.7 | 16 |
| | 5 | 99 | 4,064 | 15 | 81 | 51 | 1,059 | 14 | 49 |
| | 7 | 175 | 10,064 | 23 | 113 | 116 | 4,064 | 23 | 81 |
| S3 | 3 | 40 | 1,059 | 7.7 | 37 | 5.40 | 41 | 7.7 | 12 |
| | 5 | 91 | 4,064 | 15 | 62 | 47 | 1,059 | 15 | 37 |
| | 7 | 161 | 10,064 | 23 | 87 | 107 | 4,064 | 23 | 62 |

Para SI: 1 mm = 0.03937 in.; 1 m = 3.28 ft; 1 N = 0.2248 lbf.