

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA MADERA ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACIÓN EN URUGUAY

AUTORES:

Vanesa Baño, Laura Moya, Leandro Domenech y Daniel Godoy

2019

INSTITUTO DE ESTRUCTURAS Y TRANSPORTE | FACULTAD DE INGENIERÍA



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA MADERA ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACIÓN EN URUGUAY



AUTORES: Vanesa Baño, Laura Moya, Leandro Domenech y Daniel Godoy

Marzo 2019

ISBN: 978-9974-0-1670-5



ÍNDICE

GLOSARIO Y TERMINOLOGÍA	3
SÍMBOLOS	5
1. OBJETO Y ALCANCE	6
2. INTRODUCCIÓN	6
2.1. DEFINICIÓN DE PRODUCTOS ESTRUCTURALES DE MADERA.....	6
2.2. CLASES RESISTENTES, CLASES DE SERVICIO Y CLASES DE USO	8
2.3. HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO	10
3. MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL	11
3.1. MADERA ASERRADA DE PINO	11
3.2. MADERA ASERRADA DE EUCALIPTO	13
3.3. TOLERANCIAS DIMENSIONALES PARA LA MADERA ASERRADA	15
3.4. PROTECCIÓN DE LA MADERA.....	16
4. MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL (MLE)	18
5. PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA (CLT)	18
6. TABLEROS ESTRUCTURALES	19
6.1. TABLEROS CONTRACHAPADOS	19
6.2. TABLEROS OSB	19
7. ELEMENTOS DE FIJACIÓN	19
7.1. CALIDAD Y TIPO DE PROTECCIÓN DEL ACERO DE LA TORNILLERÍA Y HERRAJES	19
7.2. DETALLES CONSTRUCTIVOS	20
8. DECLARACIÓN DE PRODUCTO ESTRUCTURAL Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN FÁBRICA	20
8.1. DECLARACIÓN DE MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL.....	20
8.2. DECLARACIÓN DE MLE Y CLT ESTRUCTURAL	20
9. CONTROL DE CALIDAD DE RECEPCIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL	21
9.1. HIPÓTESIS.....	21
9.2. METODOLOGÍA	22
10. TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y CONTROL DE EJECUCIÓN EN OBRA	22
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
ANEXO A. CLASES RESISTENTES Y MARCADO DE CALIDAD ESTRUCTURAL	26
ANEXO B. REQUISITOS MÍNIMOS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA	37
ANEXO C. REQUISITOS MÍNIMOS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA CONTRALAMINADA	44
ANEXO D. INFORMES DE LOS ENSAYOS INICIAL TIPO (EIT) Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN FÁBRICA (CPF) A SUMINISTRAR POR EL FABRICANTE DE MADERA ESTRUCTURAL	46

GLOSARIO Y TERMINOLOGÍA

Albura: Parte joven de la madera que se encuentra justo debajo de la corteza del árbol. Tiene color más claro y propiedades mecánicas y de durabilidad más bajas que el resto de la madera.

Ancho o base (b): Lado menor de la sección transversal de una pieza rectangular de madera.

Cara, altura o canto (h): Lado mayor de la sección transversal de una pieza rectangular de madera.

CH: Contenido de humedad de la madera (%).

Clases resistentes: ver Apartado 2.1.1.

Clases de servicio: ver Apartado 2.1.2.

Clases de uso: ver Apartado 2.1.3.

Coníferas: Es el grupo más importante de las Gimnospermas. Su madera se caracteriza por estar formada por traqueidas y canales resiníferos. No tienen flores, normalmente sus hojas son aciculares y presentan conos o piñas que contienen a las semillas. *Ejemplo: pinos*

Director de obra: Arquitecto o Ingeniero responsable de la ejecución de la obra

Duramen: Parte central del árbol, que se encuentra rodeada por la madera de albura. Tiene color más oscuro y propiedades mecánicas y durabilidad mayores que la madera de albura.

EPI: Adhesivo estructural Emulsión Polímero Isocianato

Fronchosas: Pertenecen al grupo de las Angiospermas. Se caracterizan por presentar flores, frutos y semillas, hojas comunes y no contienen resina. Su madera está formada por vasos. *Ejemplo: Eucaliptos*

HEH: Humedad de Equilibrio Higroscópico de la madera. Ver Apartado 2.2.

HR: Humedad relativa del aire (%)

Longitud (L): Largo total de la pieza de madera

Luz (l): Distancia entre apoyos de una pieza de madera. Puede coincidir o no con la longitud.

MF: Adhesivo estructural Melamina Formaldehído

MLE: Madera Laminada Encolada

MUR: Adhesivo estructural Melamina Urea Formaldehído

PRF: Adhesivo estructural Fenólico Resorcinol Formaldehído

Proveedor: Suministrador de los materiales utilizados en la obra

Proyecto de Ejecución de una edificación: Proyecto técnico con la determinación completa de detalles y especificaciones de todos los materiales, elementos, sistema constructivo e instalaciones. Incluye normalmente una Memoria Descriptiva, Memoria de Cálculo Estructural, Planos, Presupuesto y Pliego de Condiciones o Especificaciones Técnicas.

PUR: Adhesivo estructural de Poliuretano monocomponente

Testa o cabeza: Sección transversal de las partes inicial y final de una pieza de madera

UF: Adhesivo estructural Urea Formaldehído

SÍMBOLOS

$E_{m,0,medio}$:	módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra
$E_{m,0,k}$:	valor característico del módulo de elasticidad paralelo a la fibra
$E_{t,0,medio}$:	módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en tracción
$E_{t,90,medio}$:	módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra en tracción
$f_{m,k}$:	valor característico de la resistencia a flexión
$f_{t,0,k}$:	valor característico de la resistencia a tracción paralela a la fibra
$f_{t,90,k}$:	valor característico de la resistencia a tracción perpendicular a la fibra
$f_{c,0,k}$:	valor característico de la resistencia a compresión paralela a la fibra
$f_{c,90,k}$:	valor característico de la resistencia a compresión perpendicular a la fibra
$f_{v,k}$:	valor característico de la resistencia a cortante
G_{medio} :	módulo de elasticidad medio de cortante o módulo transversal
ρ_k :	densidad característica
ρ_{medio} :	densidad media

1. OBJETO Y ALCANCE

El documento **Especificaciones técnicas para la madera estructural en la edificación en Uruguay** establece los requisitos fundamentales que deben cumplir los productos de madera para ser utilizados con fines estructurales en arquitectura e ingeniería civil en Uruguay. En este documento la madera estructural incluye piezas de madera aserrada clasificadas estructuralmente, madera laminada encolada estructural, madera contralaminada estructural y paneles contrachapados.

2. INTRODUCCIÓN

La madera por ser un material natural e higroscópico presenta propiedades físicas y mecánicas que son susceptibles a las condiciones ambientales que la rodea. Por ello, para utilizarla en arquitectura e ingeniería es imprescindible conocer: i) sus propiedades estructurales, ii) las condiciones ambientales a las cuales estará expuesto durante su vida útil de servicio, que influirán en la asignación de los valores resistentes y en el cálculo de las deformaciones, y iii) el riesgo al ataque de agentes bióticos asociado a las condiciones ambientales a las que estará expuesto durante su vida útil. En el sistema europeo, estos tres ítems están establecidos en las denominadas clases resistentes, clases de servicio y clases de uso, respectivamente.

2.1. DEFINICIÓN DE PRODUCTOS ESTRUCTURALES DE MADERA

2.1.1. Madera aserrada estructural

La madera aserrada estructural se define como piezas de madera de sección cuadrada o rectangular que están clasificadas estructuralmente y por tanto sus propiedades mecánicas y su densidad son conocidas. La forma habitual de garantizar al consumidor la calidad estructural de un producto de madera es mediante una marca o sello estampado (*grade stamp*) en cada pieza de madera, que contiene información sobre sus propiedades estructurales. En el **ANEXO A** se muestra el contenido mínimo de los sellos de madera aserrada estructural.

2.1.2. Madera laminada encolada

La MLE se clasifica en: i) estructural, o ii) no estructural, siendo esta última empleada para la producción de marcos de aberturas, muebles, etc., donde el aspecto estético es importante. Vale subrayar que se trata de dos productos diferentes, con requisitos de fabricación y prestaciones distintos, que frecuentemente son confundidos en el mercado uruguayo, tanto por el proveedor como por el técnico.

La madera laminada encolada estructural (MLE) es un producto de ingeniería de la madera constituido por un mínimo de dos láminas de madera aserrada dispuestas en dirección paralela a la fibra encoladas entre sí por la cara con adhesivos estructurales. Los

espesores de lámina varían entre 6 y 45 mm, estando limitado a un espesor máximo de 35 mm cuando la madera se encuentra en clase de servicio 3 (ver apartado 2.2.2.).

Su producción debe realizarse bajo un proceso y requisitos de fabricación específicos, que usualmente están detallados en normas internacionales, y cuya consecución garantiza la aptitud estructural del producto. Los requisitos mínimos de fabricación de la madera laminada encolada en Uruguay se definen en el **ANEXO B**. En el **ANEXO A** se presenta la información contenida en sellos de calidad estructural de MLE.

2.1.3. Madera contralaminada

Los paneles de madera contralaminada son un producto estructural, con los cuales se conforman tanto las losas como los muros de carga de un variado tipo de edificaciones. Están formados por tablas que se vinculan entre sí por medio de un adhesivo estructural, las cuales se colocan en capas superpuestas unas sobre otras de modo que la dirección de las tablas en cada capa es perpendicular a la anterior. Los paneles son fabricados en general de 3 a 7 capas (aunque pueden ser más), por tablas de espesores menores a 40 mm. Los espesores de panel varían en función del espesor de la tabla y de la cantidad de capas, situándose entre los 51 y los 400 mm. El ancho y el largo del panel se define en función de cada proyecto y depende de la capacidad de prensado de la industria que lo fabrica, siendo las dimensiones máximas más comunes de 3,5 x 18 m². Generalmente, estos paneles se realizan con madera de coníferas, existiendo investigaciones sobre paneles realizados con madera de frondosas, pero que aún no están disponibles comercialmente. Los requisitos mínimos de fabricación de estos paneles también se encuentran regulados por normativa. Los requisitos mínimos de fabricación de la madera laminada encolada en Uruguay se definen en el **ANEXO C**.

2.1.4. Paneles contrachapados

Los tableros contrachapados conocidos también por su nombre en inglés “plywood”, están compuestos por chapas o láminas (ply) de madera de aproximadamente 2 a 5 mm de espesor, dispuestas ortogonalmente unas con otras unidas con adhesivos estructurales mediante calor y presión. En Uruguay son fabricados con eucalipto (*E. grandis*) y pino (*P. elliotti/P.taeda*), combinando ambas especies o con una sola, y adhesivos para uso en interior y exterior. Se producen en dimensiones de 1,22 m x 2,44 m y con espesores de 12, 15, 18 mm. Los tableros deben contar con sellos de certificación técnica. Un ejemplo de sello para tableros contrachapados producidos y comercializados en Uruguay se presenta en el **ANEXO A**.

2.1.5. Paneles OSB

Los tableros de virutas orientadas, conocidos por su acrónimo OSB (Oriented Strand Board), están constituidos por varias capas de virutas de madera unidos mediante adhesivo y presión. Cada capa se orienta con la dirección de su grano en forma perpendicular al de la capa adyacente. Los tableros OSB disponibles en Uruguay son de procedencia extranjera, generalmente provienen de Chile o Brasil donde existen fábricas de empresas internacionales, y se presentan en dimensiones de 1,22 m x 2,44 m y con

espesores de 9, 12, 15, 18 y 25 mm. Los tableros cuentan con sellos de certificación técnica. Un ejemplo de sello para tableros OSB se presenta en el **ANEXO A**.

2.2. CLASES RESISTENTES, CLASES DE SERVICIO Y CLASES DE USO

Una *calidad visual* de madera se define por un conjunto de singularidades o atributos que presentes en una pieza con medidas que no superen los límites admisibles establecidos en una norma de clasificación visual. De forma análoga, una *calidad mecánica* de madera agrupa piezas evaluadas por una máquina de clasificación que presentan valores similares de módulo de elasticidad y de densidad. Las piezas de madera que no cumplan con los criterios limitantes de la clasificación no serán clasificadas en la calidad visual o mecánica correspondiente, y serán rechazadas para uso estructural. Generalmente, las calidades visuales y las reglas de clasificación visual son específicas para cada especie y procedencia de madera.

A partir de la clasificación visual o mecánica, y de su posterior caracterización estructural a partir de una serie de ensayos mecánicos, es posible asignar un lote de madera a una determinada *clase resistente*. Una clase resistente agrupa piezas de madera, independientemente de la especie, con propiedades estructurales comunes (valores característicos de resistencia, rigidez y densidad). Los sistemas de clases resistentes permiten la comercialización de la madera estructural en el mercado internacional, a partir de exigencias de calidad estandarizadas y de reconocimiento universal, independientemente de la especie de árbol, de la procedencia y de la norma de clasificación de la madera.

2.2.1.1. Clases resistentes de madera aserrada

La norma EN 338:2016 define tres grupos de clases resistentes para madera aserrada denominados con las letras “C” o “D” según se trate de madera de coníferas o de frondosas (del inglés *deciduous*) cuyas propiedades mecánicas fueron obtenidas mediante ensayos de flexión, y con la letra “T” para madera de coníferas cuyas propiedades mecánicas fueron obtenidas a partir de ensayos de tracción. Este último grupo concentra únicamente las clases resistentes de las tablas de madera que, luego de ser asignadas a una determinada clase “T”, configurarán la madera laminada encolada. Las letras van acompañadas de un valor numérico que se corresponde con el valor característico de la resistencia de flexión o de tracción, respectivamente. La norma EN 338:2016 distingue 12 clases resistentes de madera aserrada de coníferas (C), 14 de madera aserrada de frondosas (D), y 18 de tablas de madera de coníferas (T). La letra va acompañada de un número, que indica las propiedades de resistencia a flexión (en el caso de las letras C y D) o de la resistencia a tracción paralela a la fibra (en el caso de la letra T). Por ejemplo, una viga clasificada como clase resistente C14 indica que se trata de una conífera ensayada a flexión, con un valor de resistencia característica a flexión de 14 N/mm².

En el **ANEXO A** se presentan las propiedades mecánicas de las clases resistentes definidas en la norma EN 338:2016.

2.2.1.2. Clases resistentes de madera laminada encolada

Existen dos grupos de clases resistentes para la MLE denominados con las letras “GL” (del inglés *Glulam*), seguidas de un valor numérico que se corresponde con la resistencia a flexión de la viga de MLE y las letras “h” de homogénea o “c” de combinada que refieren a la configuración de la sección transversal de la pieza de MLE. Se considera que la pieza de MLE es homogénea si todas las láminas que la conforman son de una misma clase resistente y combinada si las láminas externas tienen una clase resistente mayor que las láminas internas. La norma EN 14080:2013 distingue 7 clases resistentes de MLE homogénea y 7 clases resistentes de MLE combinada. Por ejemplo, una clase resistente GL20h se corresponde a un elemento de madera laminada encolada con una resistencia característica a flexión de 20 N/mm² fabricada en su totalidad con tablas de madera aserrada de una misma clase resistente.

En el **ANEXO A** se presentan las propiedades mecánicas de las clases resistentes definidas en la norma EN 14080:2013.

2.2.2. Clases de servicio

Las clases de servicio establecidas en el Eurocódigo 5 (EN 1995:2004/AC:2006) y descritas en la Tabla 1, fueron definidas para modificar los valores de resistencias y deformación en función de las condiciones ambientales a las que está expuesta la estructura.

Tabla 1. Clases de servicio de la madera (EN 1995:2004/AC:2006)

Clases de servicio	Definición
1	Contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20°C ±2°C y una humedad relativa del aire que sólo supere el 65% durante unas pocas semanas al año. Estas condiciones implican que el contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico en la mayoría de las coníferas no excede el 12%. <i>Ejemplo: Elementos de madera en el interior de una edificación en lugares secos.</i>
2	Contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20°C ±2°C y una humedad relativa del aire que sólo supere el 85% durante unas pocas semanas al año. Estas condiciones implican que el contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico en la mayoría de las coníferas no excede el 20%. <i>Ejemplo: Elementos de madera ubicados en el interior de una edificación en lugares húmedos como baños y piscinas climatizadas, y los elementos ubicados al exterior pero protegidos de la intemperie (aleros, porches, etc.)</i>
3	Condiciones climáticas que conducen a contenidos de humedad de la madera mayores a los definidos en la clase de servicio 2. <i>Ejemplo: elementos estructurales de madera ubicados al exterior expuestos a la intemperie, sin cubierta protectora, en contacto con el suelo o con agua.</i>

2.2.3. Clases de uso

Las clases de uso establecidas en la norma EN 335 (2013) y descritas en la Tabla 2 se definen en función de las diferentes exposiciones ambientales a las que eventualmente podrá estar sometida la madera y que la hacen susceptible de deterioro biológico. El concepto de clase de uso está relacionado con la probabilidad de que un elemento estructural sufra ataques por agentes bióticos, y principalmente es asociado con el grado de humedad que alcance durante su vida de servicio.

Tabla 2. Clases de uso de la madera

Clases de uso	Definición
1	Interior, seco. <i>Ejemplo: vigas y viguetas de cubierta de una vivienda</i>
2	Interior, o bajo cubierta, no expuesto a la intemperie. Posibilidad de condensación de agua. <i>Ejemplo: porches cubiertos al exterior o vigas y viguetas de cubierta de una piscina climatizada</i>
3.1	Exterior, sin contacto con el suelo, expuesto a condiciones de humedad a la intemperie durante cortos períodos de tiempo y donde se debe asegurar que el agua no se acumule sobre la madera. <i>Ejemplo: vigas de un "deck" o porche al exterior y sin cubierta protectora, donde los elementos de madera deben de estar protegidos por diseño (tablas protectoras fácilmente reemplazables, recubrimiento con otros materiales, etc.)</i>
3.2	Exterior, sin contacto con el suelo, y expuesto a condiciones de humedad a la intemperie durante períodos largos. <i>Ejemplo: vigas de un "deck" o porche al exterior y sin cubierta protectora y sin ninguna medida de protección por diseño</i>
4	Exterior, en contacto con el suelo o con agua dulce. <i>Ejemplo: pilares o postes enterrados en el suelo o pilares de embarcadero en un río o lago</i>
5	Permanentemente o regularmente sumergido en agua salada. <i>Ejemplo: pilares de un embarcadero en agua de mar</i>

2.3. HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

La humedad de equilibrio higroscópico (HEH) es el contenido de humedad que tiene la madera para una determinada pareja de valores higrotérmicos del aire (temperatura y humedad relativa), debido al intercambio de vapor de agua que realiza con la atmósfera que la rodea. Por ello se requiere que la madera y sus productos derivados sean secados previamente a su puesta en obra hasta contenidos de humedad cercanos a la HEH prevista del lugar donde prestará servicio y evitar así que sufra cambios dimensionales y excesivas tensiones internas. La Tabla 3 presenta las HEH para las especies de madera *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y *Eucalyptus grandis* ubicados en un ambiente exterior con cubierta que lo protege de la exposición directa a la intemperie en Uruguay, es decir, en clase de uso 2 y clase de servicio 2 (tomando como promedio la de las localidades de Rivera, Paysandú y Montevideo) para las cuatro estaciones (de Castro, 2010).

Tabla 3. Humedad de equilibrio higroscópico de la madera expuesta al exterior en Uruguay en función de la estación climática para el año 2001

Estación	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
Verano	16,5 %	14,9 %	14,3 %
Otoño	19,9 %	18,3 %	16,5 %
Invierno	20,8 %	19,4 %	18,0 %
Primavera	19,7 %	17,5 %	16,5 %
Promedio anual	19,2 %	17,5 %	16,3 %

A efectos orientativos, la Tabla 4 (Argüelles et al, 2013) presenta valores aproximados de HEH para la madera de acuerdo a las condiciones de servicio más frecuentes en arquitectura y construcción.

Tabla 4. Humedad de equilibrio higroscópico de la madera en función de su ubicación

Ubicación	HEH
Ambiente exterior al descubierto	18% ± 6%
Ambiente exterior bajo cubierta	15% ± 3%
Ambiente interior cerrado (sin calefacción)	12% ± 3%
Ambiente interior cerrado calefaccionado	9% ± 3%

A la madera estructural comprada para la ejecución de una obra se le exigirá que haya sido secada en estufa hasta haber alcanzado un CH del 16±2%, el cual posteriormente se equilibrará al CH correspondiente a la ubicación final de la madera.

3. MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

A la hora de construir con madera aserrada en Uruguay se plantean dos opciones: a) exigir al proveedor que la madera nacional sea clasificada de acuerdo con los requisitos de las normas UNIT 1261 para madera de pinos y UNIT 1262 para madera de eucalipto, y que se detallan en las Tablas 5 y 7 del presente documento; o b) importar madera con marcado o sello de clasificación estructural.

3.1. MADERA ASERRADA DE PINO

La madera de pino que se produce y comercializa en Uruguay proviene de las especies de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* y es volcada al mercado en forma mezclada, sin distinción entre ambas especies, razón por la cual para la asignación de una calidad estructural se la considera como una única especie.

3.1.1. Calidad visual de la madera de pino

Toda la madera aserrada de *P. elliottii/taeda* que se utilice con fines estructurales en la obra deberá cumplir como mínimo con los requisitos de la calidad visual ECO o EC1, establecidos en la norma UNIT 1261:2018 y que son descritos en la Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones para la clasificación visual de piezas de sección rectangular de *P.elliottii/taeda* de procedencia uruguaya de acuerdo a UNIT 1261 (2018)

CRITERIOS DE CALIDAD	CALIDAD VISUAL EC1	CALIDAD VISUAL ECO
Diámetro de los nudos (d) sobre la cara (h)	$d \leq 1/4 h$	$d \leq 2/3 h$
Diámetro de los nudos (d) sobre el canto (b)	$d \leq 2/3 b$	$d \leq 3/4 b$
Presencia de médula	Permitida	
Dirección de las fibras	Desviación $\leq 1:8$	Desviación $\leq 1:6$
Ancho máximo del anillo de crecimiento	Sin limitación	
Fisuras de secado pasantes / Rajaduras	$\leq 0,75 m$ ó $\leq (1/4)L^a$	
Fisuras de secado no pasantes / Grietas	$\leq 1,5 m$ ó $\leq (1/2)L$	
Fisuras/Fendas de rayo, heladura o abatimiento	No permitidas	
Bolsas de resina y entrecasco	$\leq 1,5 h$	
Madera de reacción: compresión	Sin limitación	
Alteraciones biológicas:		
- Azulado	Permitido	
- Hongos de pudrición	No permitido	
- Galerías de insectos	Diámetro de los orificios $< 2 mm$	
Deformaciones:		
- Curvatura de cara, combado o arqueadura	$\leq 8 mm$	$\leq 16 mm$
- Curvatura de canto o encorvadura	$\leq 8 mm$	$\leq 16 mm$
- Torcedura o alabeo	$\leq 1 mm$ por $c/ 25 mm$ de h	$\leq 2 mm$ por $c/ 25 mm$ de h
- Abarquillado o acanaladura	Sin limitación	Sin limitación
Arista faltante	$\leq 1/4 h$	$\leq 1/3 h$

^a En los extremos, su largo no debe ser mayor que 2 veces el ancho de la tabla

Vale señalar que si las piezas de madera luego de ser clasificadas sufren una mecanización (por ejemplo, cepillado o corte) que provoque una disminución de las dimensiones de su sección transversal, dicha reducción en relación a las medidas nominales no debe ser superior a las estipuladas en la Tabla 6. Si la reducción fuera superior, la pieza deberá volver a clasificarse con relación a sus nuevas dimensiones.

Tabla 6. Reducción dimensional máxima permitida en piezas ya clasificadas

DIMENSIONES "c"	$c \leq 50$	$50 < c \leq 100$	$100 < c \leq 150$	$c > 150$
(Espesor o ancho de cara en mm)				
Reducción máxima del espesor o ancho de cara en mm	1,5	3,0	5,0	6,0

3.1.2. Valores característicos de las propiedades estructurales de la madera de pino

La madera de pino nacional (*P. elliotii/taeda*) clasificada visualmente como EC1 y EC0 de acuerdo con los criterios de calidad establecidos en la Tabla 5 presenta los valores característicos y medios que se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores característicos de las propiedades de la madera estructural de *Pinus elliotii/taeda* clasificada visualmente como EC1 y EC0

PROPIEDAD	Valor característico	Valor característico
	EC1	EC0
Resistencia característica a flexión (5º percentil), $f_{m,k}$ (N/mm ²)	15,52	11,01
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (N/mm ²)	7139	5327
Densidad media, ρ_{mean} (kg/m ³)	421	392
Densidad característica (5º percentil), ρ_k (kg/m ³)	365	332

Los valores de las propiedades detalladas en la Tabla 7 fueron obtenidos a partir de ensayos de flexión “de canto”, de piezas con dimensiones transversales nominales de 50 mm x 150 mm, de acuerdo con la norma europea EN 408:2012.

Adicionalmente, y con el fin de obtener al conjunto completo de las propiedades resistentes y elásticas necesarias en el cálculo estructural, la madera de pino nacional (*P. elliotii/taeda*) clasificada visualmente como EC1 de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 7, pueden determinarse empíricamente según las ecuaciones de la norma EN 384:2016.

La madera de pino clasificada como EC1 puede ser asignada a la clase resistente C14 de la norma europea EN 338:2016, tomando los valores del resto de propiedades estructurales de esta clase. En el **ANEXO A** se presentan los valores característicos y medios de las propiedades estructurales de las clases resistentes.

3.2. MADERA ASERRADA DE EUCALIPTO

3.2.1. Calidad visual de la madera de eucalipto

Toda la madera aserrada de *Eucalyptus grandis* que se utilice con fines estructurales en la obra deberá cumplir como mínimo con los requisitos de la calidad visual EF1, establecidos en la norma UNIT 1262:2018 y que son descritos en la Tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones para la clasificación visual de piezas de sección rectangular de *Eucalyptus grandis* de procedencia uruguaya de acuerdo a UNIT 1262 (2018)

CRITERIOS DE CALIDAD	CALIDAD VISUAL EF1
Diámetro de los nudos (d) sobre la cara (h)	$d \leq (2/3) h$
Diámetro de los nudos (d) sobre el canto (b)	$d \leq (2/3) b$
Presencia de médula	No permitida
Dirección de las fibras	Desviación $\leq 1:9$ (11%)
Fisuras de secado pasantes / Rajaduras	Sólo se permiten en los extremos y su longitud no debe ser mayor que el espesor (b) de la tabla
Fisuras de secado no pasantes / Grietas	≤ 1 m ó $\leq (1/4)L^a$
Fisuras/Fendas de rayo, heladura o abatimiento	No permitidas
Madera de reacción: tensión (mm/mm)	Sin limitación
Alteraciones biológicas:	
- Azulado	Permitido
- Hongos de pudrición	No permitidos
- Galerías de insectos	Diámetro de los orificios < 2 mm
Deformaciones:	
-Curvatura de cara, combado o arqueadura	≤ 8 mm
-Curvatura de canto o encorvadura	≤ 8 mm
-Torcedura o alabeo	≤ 1 mm por c/ 25 mm de h
-Abarquillado o acanaladura	Sin limitación
Arista faltante (mm/mm)	Transversalmente $\leq (1/4)h$ o $(1/4)b$ donde aparece Sin limitación en el largo
Otros	Daños mecánicos, bolsa de resina, corteza incluida y otras singularidades se limitan por analogía con alguna característica similar

^a En los extremos, su largo no debe ser mayor que 2 veces el ancho de la tabla

Vale señalar que si las piezas de madera, luego de ser clasificadas sufren una mecanización (por ejemplo, cepillado o corte) que provoque una disminución de las dimensiones de su sección transversal, dicha reducción en relación a las medidas nominales no debe ser superior a las estipuladas en la Tabla 9. Si la reducción fuera superior, la pieza deberá volver a clasificarse con relación a sus nuevas dimensiones.

Tabla 9. Reducción dimensional máxima permitida en piezas ya clasificadas

DIMENSIONES "c" (Espesor o ancho de cara en mm)	$c \leq 50$	$50 < c \leq 100$	$100 < c \leq 150$	$c > 15$
Reducción máxima del espesor o ancho de cara en mm	1,5	3,0	5,0	6,0

3.2.2. Valores característicos de las propiedades estructurales de la madera de eucalipto

La madera de eucalipto nacional (*Eucalyptus grandis*) clasificada visualmente como EF1 de acuerdo con los criterios de calidad establecidos en la Tabla 8 presenta los valores característicos y medios que se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores característicos de las propiedades de la madera estructural de *Eucalyptus grandis* clasificada visualmente como EF1

PROPIEDAD	Valor característico EF1
Resistencia característica a flexión (5º percentil), $f_{m,k}$ (N/mm ²)	21,4
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (N/mm ²)	11960
Densidad media, ρ_{mean} (kg/m ³)	519
Densidad característica (5º percentil), ρ_k (kg/m ³)	386

Los valores de las propiedades detalladas en la Tabla 10 fueron obtenidos a partir de ensayos de flexión “de canto”, de piezas con dimensiones transversales nominales de 50 mm x 150 mm, de acuerdo a la norma europea EN 408:2012.

El conjunto completo de las propiedades resistentes y elásticas necesarias en el cálculo estructural de la madera de eucalipto nacional clasificada visualmente como EF1 de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 8, pueden calcularse a partir de las propiedades de flexión de acuerdo a las ecuaciones dadas en la norma europea EN 384:2016.

La madera de pino clasificada como EC1 puede ser asignada a la clase resistente C14 de la norma europea EN 338:2016, tomando los valores del resto de propiedades estructurales de esta clase. En el **ANEXO A** se presentan los valores característicos y medios de las propiedades estructurales de las clases resistentes.

3.3. TOLERANCIAS DIMENSIONALES PARA LA MADERA ASERRADA

Un aspecto que requiere especial atención en una pieza de madera aserrada que no está relacionado directamente con su desempeño estructural pero que tiene incidencia en el proceso constructivo, es el que comúnmente se conoce como “calibrado” de la pieza. Esto es, la pieza presenta una sección transversal cuyas dimensiones y forma se mantienen constantes (admitiendo cierta tolerancia que no implique retrasos en el proceso constructivo) a lo largo de su eje.

La Tabla 11 indica las tolerancias dimensionales establecidas en la norma UNIT 1263:2018 para madera aserrada estructural, una vez cepillada, para un contenido de humedad del 12% (+-2%). Se presentan dos tipos de tolerancia en función de si los elementos estructurales quedan vistos (clase de tolerancia 1) o van revestidos (clase de tolerancia 2), de modo que las exigencias sean más estrictas en este último caso para asegurar una correcta terminación del cerramiento.

Tabla 11. Tolerancias dimensionales para la madera aserrada estructural (Adaptado de UNIT 1263)

	Dimensiones <i>b</i> y <i>h</i> (mm)	Tolerancia (mm)
CLASE DE TOLERANCIA 1 (3 CARAS VISTAS)	≤100	(-1, +3)
(vigas de techo, viguetas de entrepiso, etc. sin revestimiento de tablero o similar)	(100-300)	(-2, +4)
	>300	(-3, +5)
CLASE DE TOLAREANCIA 2 (CON REVESTIMIENTO)	≤100	(-1, +1)
(todos los elementos que lleven revestimiento de tablero o similar, sin que ninguna cara quede vista)	(100-300)	(-1,5, +1,5)
	>300	(-2, +2)

NOTA: *b* y *h* se corresponden con el espesor y el ancho del elemento estructural respectivamente

3.4. PROTECCIÓN DE LA MADERA

3.4.1. Madera de pino

3.4.1.1. Protección por diseño

Se exigirá que todos los elementos estructurales de madera colocados en la edificación estén protegidos por diseño. Esto es, protegidos de exposición permanente al agua, evitar acumulación de humedad, dejar la madera ventilada, etc.

3.4.1.2. Protección superficial

Además de la protección por diseño, se exigirá que todos los elementos utilizados en clase de uso 1 o 2 (ver Apartado 2.2.3), estén protegidos mediante un tratamiento superficial fungicida e insecticida (lasur o barniz a poro abierto), siempre y cuando no se detecte presencia de termitas en la zona.

3.4.1.3. Protección química en profundidad

Además de la protección definida anteriormente, se exigirá que todos los elementos estructurales de madera de pino utilizados en la construcción de edificación en Uruguay para las clases de uso 3 y 4 (ver Apartado 2.2.3) estén protegidos en profundidad (impregnación en profundidad o modificación) por alguno de los siguientes tratamientos protectores u otros con la debida certificación:

a) Impregnación de la madera con sales libres de cromo y de arsénico

La profundidad de penetración del producto debe ser en la totalidad de la sección de la pieza y la retención debe ser la recomendada por el proveedor del producto químico para cada clase de uso. En el caso de que existe riesgo de ataque por termitas, debe ajustare la retención de acuerdo con lo indicado por el proveedor. Ejemplo de algunos productos aplicables: mezcla de azoles de cobre e insecticida, mezclas de cobre micronizado e insecticida, ACQ, CX8, CX10, etc.

b) Sales de cromo y arsénico

Se permite el uso de sales de cromo y arsénico únicamente para clase de uso 5 (apartado 2.2.3.), con los niveles de retención detallados de 40 kg/m³ y una profundidad de penetración de la totalidad de la sección del elemento de madera.

3.4.1.4. Modificación de la madera

a) Madera modificada térmicamente

La madera modificada térmicamente que asegure su utilización para una clase de uso 3 y 4 (apartado 2.2.3.) y que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas para el cálculo estructural.

b) Madera modificada químicamente

Madera modificada químicamente que asegure su utilización para una clase de uso 3 y 4 (apartado 2.2.3.) y que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas para el cálculo estructural. Ejemplos: acetilación, furfuralización, etc.

3.4.2. Madera de eucalipto

3.4.2.1. Protección por diseño

Se exigirá que todos los elementos estructurales de madera colocados en la edificación estén protegidos por diseño. Esto es, protegidos de exposición permanente al agua, evitar acumulación de humedad, dejar la madera ventilada, etc.

3.4.2.2. Protección superficial

Además de la protección por diseño, se exigirá que todos los elementos utilizados en clase de uso 1 o 2 (ver Apartado 2.2.3), estén protegidos mediante un tratamiento superficial fungicida e insecticida (lasur o barniz a poro abierto), siempre y cuando no se detecte presencia de termitas en la zona.

3.4.2.3. Protección en profundidad

El duramen de eucalipto no es impregnable en profundidad. Por lo tanto, esta especie no será empleada para las clases de uso 3, 4 y 5 (Apartado 2.2.3.).

3.4.2.4. Modificación de la madera

Los elementos de madera estructural en la edificación podrán estar protegidos mediante modificación térmica que asegure su utilización para una clase de uso 3 y 4 (Apartado 2.2.3.) y que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas para el cálculo estructural.

3.4.3. Actuación en el caso de presencia de termitas

En el caso de detectarse presencia de termitas en la zona de edificación, y siempre que el Director de Obra lo estime oportuno, para la madera de pino se exigirá el tratamiento protector de impregnación en profundidad. Asimismo, será potestad del Director de Obra decidir el empleo de la madera de eucalipto en la edificación, dado que como su duramen no es impregnable, no puede garantizarse su durabilidad.

4. MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL (MLE)

El productor de MLE debe declarar cuáles son los valores característicos de las propiedades físico-mecánicas de la MLE, necesarios para el dimensionado de vigas, pilares, etc., de acuerdo con sus condiciones de fabricación. Es decir, las propiedades de la MLE no dependen únicamente de la madera utilizada, sino también de las condiciones de fabricación de cada industria.

A la hora de construir con MLE en Uruguay se plantean dos opciones: a) exigir al proveedor que la MLE sea fabricada de acuerdo con los requisitos mínimos que se detallan en el **ANEXO B** del presente documento (Moya et al. 2018), o b) importar MLE con marcado o sello de estructural (ver **ANEXO A**) que, en cualquier caso, debe cumplir con los requisitos mínimos de fabricación del **ANEXO B**.

La clase resistente más habitual de MLE de coníferas a nivel internacional es la GL24h (ver **ANEXO A**). En base a trabajos de investigación en curso, en caso de fabricarse, la MLE de *Eucalyptus grandis* uruguayo podría alcanzar propiedades estructurales que varían entre las clases resistentes GL20h y GL24h (ver **ANEXO A**).

5. PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA (CLT)

Al igual que en el caso de la MLE, el productor de CLT debe declarar cuáles son los valores característicos de las propiedades estructurales que fabrica.

A la hora de construir con CLT en Uruguay se plantean dos opciones: a) exigir al proveedor que el CLT sea fabricado de acuerdo con los requisitos mínimos que se detallan en el **ANEXO C** del presente documento, o b) importar CLT con marcado o sello de estructural.

Sin embargo, a diferencia de la MLE, no existe una categorización en clases resistentes de CLT, sino que el cálculo estructural se realiza en base a la clase resistente de las láminas de madera aserrada que lo conforman.

La clase resistente más habitual de las láminas que conforman los paneles CLT de coníferas a nivel internacional es la C24 (ver **ANEXO A**). Trabajos de investigación nacionales (Baño et al. 2018) demostraron la viabilidad de producir paneles CLT estructurales en Uruguay utilizando madera de pino nacional de clase resistente C14 (ver **ANEXO A**).

6. TABLEROS ESTRUCTURALES

6.1. TABLEROS CONTRACHAPADOS

Las propiedades mecánicas y densidad de los tableros contrachapados usualmente están disponibles en las páginas web de los fabricantes. A modo informativo, en el **ANEXO A** se presenta información sobre las propiedades estructurales de los tableros contrachapados de producción nacional.

6.2. TABLEROS OSB

Al igual que en el caso de los tableros contrachapados, las propiedades estructurales de los tableros OSB se encuentran tabuladas en las páginas web de los fabricantes. A modo informativo, en el **ANEXO A** se presenta información sobre las propiedades físico-mecánicas de los tableros OSB.

7. ELEMENTOS DE FIJACIÓN

7.1. CALIDAD Y TIPO DE PROTECCIÓN DEL ACERO DE LA TORNILLERÍA Y HERRAJES

El acero de los elementos metálicos utilizados en las uniones de estructuras de madera deberá tener una calidad mínima S-275-JR, de límite elástico 275 kN/mm², según las normas europeas EN 10025:2004 para productos laminados en caliente de acero para estructuras.

El acero debe ser resistente a la corrosión o estar protegidos contra ella. El Eurocódigo 5 plantea unos requerimientos mínimos de protección contra la corrosión y en la Tabla 12 se presentan los requerimientos de protección recomendados contra la corrosión de las uniones metálicas para las distintas clases de servicio.

Tabla 12. Recomendaciones de tipo de protección contra la corrosión del acero en caso de condiciones normales de exposición

Tipo de unión metálica	Clase de servicio		
	1	2	3
Pernos, pasadores, clavos y tornillos con d>4mm	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z350
Placas dentadas y placas de acero ≤6 mm de espesor	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z275	Acero inoxidable AISI-304
Placas de acero ≥6mm	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z350

NOTA: En caso de condiciones especialmente corrosivas (ej. En línea costera) o con el uso de madera que contenga extractivos que corroen el acero (ej. madera de castaño), se debería utilizar siempre acero inoxidable AISI 316

En resumen, el tratamiento protector recomendado en los herrajes, clavos y tornillería será el galvanizado en caliente Z275 para edificaciones lejos de la costa y ambientes no agresivos y acero inoxidable AISI 316 para las edificaciones ubicadas en la línea costera o en ambientes agresivos.

7.2. DETALLES CONSTRUCTIVOS

La Tabla 13 presenta los diámetros de pretaladros recomendados en la madera para la colocación de diferentes medios de unión tipo clavija.

Tabla 13. Diámetros de pretaladros para colocación de diferentes medios de unión tipo clavija (adaptado del Eurocódigo 5)

Tipo conector metálico	Clavos	Pernos	Pasadores ($\geq 6\text{mm}$)	Tirafondos ($d_{\text{caña}} \leq 6\text{mm}$)	Tirafondos ($d_{\text{caña}} > 6\text{mm}$)
$d_{\text{pretaladro en madera}}$	$\leq 0,8d$	$\leq (d+1\text{mm})$	$= d_{\text{pasador}}$	Coníferas: sin pretaladro Fronosas: Pretaladro $caña = d_{\text{caña}}$; Pretaladro $rosca = 0,7d_{\text{caña}}$	Pretaladro $caña = d_{\text{caña}}$ Pretaladro $rosca = 0,7d_{\text{caña}}$
$d_{\text{pretaladro en chapa metálica}}$	-	$\leq \text{mín} [(d+2\text{mm}); 0,01d]$	-	-	-

El diámetro de la arandela colocada en pernos debería ser 3 veces el diámetro del perno ($d_{\text{arandela}} \geq 3d_{\text{perno}}$) y con un espesor mayor o igual a 0,3 veces el diámetro del perno ($\text{esp} \geq 0,3d_{\text{perno}}$).

8. DECLARACIÓN DE PRODUCTO ESTRUCTURAL Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN FÁBRICA

8.1. DECLARACIÓN DE MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

La declaración de producto estructural de la madera aserrada se puede realizar a través de un sello de calidad estructural (ver **ANEXO A**) emitido por un organismo certificador homologado. En el caso de no existir organismo certificador, como es el caso de Uruguay, la madera aserrada nacional debe cumplir con lo detallado en el **ANEXO D**.

8.2. DECLARACIÓN DE MLE Y CLT ESTRUCTURAL

Una vez definidos los requisitos de fabricación, cada industria deberá declarar cuáles son las propiedades físico-mecánicas de sus productos. Para ello, deberán realizar los “Ensayos de tipo inicial” (EIT), definidos en el **ANEXO D** del presente documento, cuyo informe de resultados deberá ser entregado al cliente siempre que este lo requiera. Dicho informe se realiza una vez, cuando se declaran las propiedades del producto, y será válido siempre y cuando no se modifiquen las condiciones de fabricación ni el material utilizado.

Además de los ensayos iniciales de tipo, el fabricante deberá implementar un sistema de control de producción en fábrica (CPF) que garantice que los elementos comercializados cumplen con los valores declarados en el EIT y con los requisitos mínimos de fabricación. Los ensayos de CPF se presentan en el **ANEXO D** del presente documento.

Los EIT deberán ser realizados por una tercera parte independiente (laboratorio o universidad), mientras que los ensayos CPF podrán ser realizados por el propio fabricante.

9. CONTROL DE CALIDAD DE RECEPCIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL

Por su parte, el cliente podrá establecer un sistema de control de calidad de recepción de producto con el fin de verificar lo declarado en el EIT.

9.1. HIPÓTESIS

Para evaluar un valor característico (de resistencia, rigidez o densidad) de un lote determinado, se debe ensayar una muestra de ese lote conforme al presente capítulo. En el apartado siguiente se indica el tamaño de la muestra y los requisitos de evaluación para los valores medios (percentil 50 %) y los valores de percentil 5 %.

El procedimiento ha sido propuesto por Domenech (2019) y se basa en la teoría del control de calidad, considerando las siguientes tres hipótesis:

1. Los parámetros de resistencia, rigidez y densidad se ajustan a una distribución log-normal, según lo establecido en el Anexo C del Eurocódigo 0 (EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010). Para la determinación de los valores característicos, se supone que el fabricante utilizó entre 30 y 50 piezas.
2. La probabilidad de que un lote de calidad aceptable (cuyo valor característico sea mayor al declarado) sea rechazado es menor al 5 % (EN 14358:2016).
3. La probabilidad de que ocurra simultáneamente:
 - a. que un lote de calidad no aceptable (cuyo valor característico sea menor al declarado) sea aceptado, y
 - b. que un elemento de ese lote tenga un parámetro (de resistencia, rigidez o densidad) menor al valor de cálculo (valor característico dividido del coeficiente de seguridad del material) para una clase de fiabilidad RC1, es menor a la probabilidad de que un elemento de un lote aceptable tenga un parámetro menor al valor de cálculo para una clase de fiabilidad RC2 (EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010).

La segunda hipótesis asegura que el fabricante no se vea perjudicado significativamente por el control de calidad realizado por el usuario al reducir la probabilidad de rechazar un lote de calidad aceptable a un valor menor al 5 %. La tercera hipótesis asegura que, cualquiera sea la calidad del lote provisto por el fabricante, si el usuario realiza un

adecuado control de calidad, la fiabilidad estructural sea al menos la requerida a un edificio semejante a un galón agrícola.

9.2. METODOLOGÍA

Recibido el lote, se debe seleccionar un muestreo de 5 piezas de forma aleatoria. Estas se deben ensayar según la norma EN 408:2011, de manera de obtener $n = 5$ valores de ensayo, designados como x_i con $i = 1, 2, \dots, n$. A partir de estos valores se debe determinar el valor medio \bar{x} y los valores normalizados y_i cómo se indica a continuación:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$y_i = \ln\left(\frac{x_i}{\bar{x}}\right), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Hallados los valores normalizado de y_i , se debe calcular el valor medio \bar{y} y la desviación estándar de la muestra s_y según las siguientes ecuaciones (en las que $CV_{x,d}$ corresponde al coeficiente de variación de la propiedad declarado por el fabricante):

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$s_y = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \\ \sqrt{\ln(1 + CV_{x,d}^2)} \end{array} \right.$$

Con estos dos valores y el coeficiente $k_c(p)$ se debe determinar el valor característico de comparación normalizado $y_{p,c}$ (correspondiente al percentil p) y el valor característico de comparación $x_{p,c}$ (correspondiente al percentil p) según se expresa a continuación:

$$y_{p,c} = \bar{y} - k_c(p) s_y$$

$$x_{p,c} = \bar{x} \exp(y_{p,c})$$

El coeficiente $k_c(p)$ depende de la propiedad que se esté evaluando a partir del percentil p . Para la determinación de valores característicos correspondientes al percentil $p = 5\%$ se debe considerar $k_c(5\%) = 1,05$; mientras que para la determinación de valores característicos medios correspondientes al percentil $p = 50\%$ se debe considerar $k_c(50\%) = -0,64$.

Sea x_k el valor característico declarado por el fabricante. De la comparación con el valor obtenidos de $x_{p,c}$ surgen dos posibilidades:

1. Si $x_{p,c} > x_k$, el lote presenta una calidad aceptable, por lo que debe ser aceptado.
2. Si $x_{p,c} < x_k$, el lote presenta una calidad no aceptable, por lo que debe ser rechazado.

10. TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y CONTROL DE EJECUCIÓN EN OBRA

Durante el almacenamiento y transporte de la madera estructural es importante mantener las mismas condiciones que las de servicio de la estructura. En caso de que las condiciones de transporte y almacenamiento sean diferentes y peores a las de servicio de la estructura, las piezas de madera se deberán proteger mediante la envoltura con algún tipo de material plástico para evitar el contacto con la humedad ambiental y el agua.

El almacenamiento se debe realizar sobre una superficie plana, evitando el contacto directo de la madera con el suelo y permitiendo la ventilación entre los diferentes elementos de madera, en caso de que estos se apilen.

Tanto el Director de Obra como el Capataz o encargado de ejecución de la obra, deberá velar por el cumplimiento de los requisitos que garanticen que las piezas de madera colocadas en obra mantengan las condiciones iniciales reflejadas en el proyecto de ejecución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argüelles Álvarez, R.; Arriaga, F.; Iñiguez, G; Esteban, M; Argüelles Bustillo, R (2013). Estructuras de madera. Bases de cálculo. AITIM. 1° Edición. Madrid, España

ASTM D 1990-07 (2011). Standard practice for establishing allowable properties for visually-graded dimension lumber from in-grade tests of full-size specimens. Annual Book of ASTM Standards. Vol 04.10. West Conshohocken, PA.

Baño, V., Godoy, D., Figueredo, D, Vega, A. (2018). Characterization and structural performance in bending of CLT panels made from small-diameter logs of Loblolly/Slash pine. Materials 11(12):2436

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6317170/>

CTE-DB-SE-M (2009). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural: Madera. Ministerio de Fomento. Madrid, España.

de Castro, R. (2010). Secado al aire de tablas y rollizos en diferentes regiones del país y variación estacional de la humedad de equilibrio. Maderexpo 2010. Montevideo, Uruguay

Domenech, L. (2019). Análisis estructural de puentes de madera en Uruguay. Tesis de maestría en curso. Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (Uruguay).

Dieste, A. (2014). Mitigación del impacto ambiental de madera tratada químicamente. Informe 4. Dirección Nacional de Industrias. Ministerio de Industrias, Energía y Minería. Consejo Sectorial Forestal-Madera. Montevideo, Uruguay.

EN 335 (2013). Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. CEN/TC 38 (European Committee for Standardization/ Technical Committee 38). Brussels, Belgium

EN 300 (2006). Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications. CTN 56. Brussels, Belgium

EN 338 (2016). Structural timber - Strength classes. CEN/TC 124. Brussels, Belgium

EN 351-1 (2008). Durability of wood and wood-based products - Preservative-treated solid wood - Part 1: Classification of preservative penetration and retention. CEN/TC 38. Brussels, Belgium

EN 384 (2016). Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density. CEN/TC 124. Brussels, Belgium

EN 408 (2010+A1:2012). Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties. CEN/TC 124. Brussels, Belgium

EN 1990 (2002/A1:2005/AC:2010). Eurocode 5. Basis of structural design

EN 1995 (2004+A2:2014). Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. CEN/TC 250. Brussels, Belgium

EN 10025 (2004). Hot rolled products of structural steels - Part 1: General technical delivery conditions. ECIS/TC 103. Brussels, Belgium

EN 14080 (2013). Timber structures - Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements. CEN/TC 124. Brussels, Belgium

EN 14358 (2016). Timber structures - Calculation and verification of characteristic values

EN 16351 (2016). Timber structures - Cross laminated timber - Requirements

Moya, L.; Pérez Gomar, C.; Vega, A.; Sánchez, A.; Torino, I.; Baño, V. (2019). Relación entre parámetros de producción y propiedades estructurales de madera laminada encolada de *Eucalyptus grandis*. Maderas-Cienc Tecnol 21(3). Ahead of print. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/MCT/article/view/3474/3500>

NDS (2018). National Design Specification for Wood construction. Supplement. Design values for Wood construction. American Wood Council, USA

UNIT 1261 (2018). Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Madera de pino taeda y pino elliotti (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*). Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Uruguay

UNIT 1262 (2018). Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Madera de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Uruguay

UNIT 1263 (2018). Madera aserrada de uso estructural. Método para la determinación de las dimensiones y tolerancias. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Uruguay

ANEXO A. CLASES RESISTENTES Y MARCADO DE CALIDAD ESTRUCTURAL

A.1. MERCADO CE EUROPEO

El mercado CE en la madera estructural, tanto aserrada como laminada encolada, es un sello obligatorio tanto para la venta de productos de madera estructural en Europa como para la importación de productos de madera estructural a Europa. Este mercado exige una serie de ensayos y controles de calidad, tanto por parte del fabricante como por parte del organismo certificador.

A.1.1. MADERA ASERRADA

La Fig. A.1.1 muestra un ejemplo de marcado CE para una pieza de madera aserrada estructural. En ella se muestra un ejemplo de marcado estructural para madera de conífera de la especie picea (PCAB-*Picea abies*), clasificada visualmente según la norma de los países nórdicos INSTA 142 como calidad visual T2, que se corresponde con las propiedades mecánicas de la clase resistente C24. Se especifica además, que la madera se clasificó en seco y se detalla su clase de durabilidad natural.



a)	b)
 1070	 1070
0001 Ciudad 10 1280-CPD-000Compañía 0001 Ciudad	0001 Ciudad 10 1280-CPD-000Compañía 0001 Ciudad
14081-1 Madera aserrada estructural Clase resistente: C14 Calidad visual: T2 Clasificación en seco Código de especie: PCAB Norma clasificación visual: INSTA142 Clase de durabilidad natural: 4 EN 14081-1	EN 14081-1:2005+A1:2011 Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales
	País que clasifica visualmente: Países nórdicos INSTA 142 Nordic visual strength grading rules for timber.
	Especie: <i>Picea abies</i>

Figura A.1.1. Marcado CE en: a) las piezas de madera aserrada; b) documentación a entregar por el suministrador junto a las piezas vendidas

A.1.1.1. Información de propiedades estructurales de las clases resistentes

Las Tablas A.1.1.1 y A.1.1.2. muestran los valores característicos y medios de las clases resistentes de la madera aserrada de coníferas y frondosas obtenidos de ensayos a flexión (EN 338:2016), con valores de resistencia en MPa, valores de módulo de elasticidad en GPa y de densidad en Kg/m³.

Tabla A.1.1.1. Tabla de clases resistentes de la madera de coníferas (para cálculo según el método de los estados límite) obtenido a partir de ensayos de flexión (tomado de EN 338:2016)

	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19	22,5	26	30	33,5
$f_{t,90,k}$	0,4											
$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	24	25	27	29	0,4
$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	30
$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0
$E_{m,0,medio}$	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
$E_{m,0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7
$E_{m,90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,5	0,53
G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
ρ_k	290	310	320	330	340	350	350	360	380	390	410	330
ρ_{medio}	350	370	380	400	410	420	430	460	470	480	490	520

$f_{m,k}$: flexión; $f_{t,0,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{t,90,k}$: tracción perpendicular a la fibra; $f_{c,0,k}$: compresión paralela a la fibra; $f_{c,90,k}$: compresión perpendicular a la fibra; $f_{v,k}$: cortante; $E_{m,0,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en flexión; $E_{m,0,k}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión; $E_{t,0,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en tracción; G_{medio} : módulo medio de cortante; ρ_k : densidad característica y ρ_{medio} : densidad media.

Tabla A.1.1.2. Tabla de clases resistentes de la madera de frondosas para cálculo según el método de los estados límite) obtenido a partir de ensayos de flexión (tomado de EN 338:2016)

	D18	D24	D27	D30	D35	D40	D45	D50	D55	D60	D65	D70	D75	D80
$f_{m,k}$	18	24	27	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$f_{t,0,k}$	11	14	16	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48
$f_{t,90,k}$	0,6													
$f_{c,0,k}$	18	21	22	24	25	27	29	30	32	33	35	36	37	38
$f_{c,90,k}$	4,8	4,9	5,1	5,3	5,4	5,5	5,8	6,2	6,6	10,5	11,3	12,0	12,8	13,5
$f_{v,k}$	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0
$E_{m,0,medio}$	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0	15,5	17,0	18,5	20,0	22,0	24,0
$E_{m,0,k}$	8,0	8,4	8,8	9,2	10,1	10,9	11,3	11,8	13,0	14,3	15,5	16,8	18,5	20,2
$E_{m,90,medio}$	0,63	0,67	0,70	0,73	0,80	0,87	0,90	0,93	1,03	1,13	1,23	1,33	1,47	1,60
G_{medio}	0,59	0,63	0,66	0,69	0,75	0,81	0,84	0,88	0,97	1,06	1,16	1,25	1,38	1,50
ρ_k	475	485	510	530	540	550	580	620	660	700	750	800	850	900
ρ_{medio}	570	580	610	640	650	660	770	740	790	840	900	960	1020	1080

$f_{m,k}$: flexión; $f_{t,0,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{t,90,k}$: tracción perpendicular a la fibra; $f_{c,0,k}$: compresión paralela a la fibra; $f_{c,90,k}$: compresión perpendicular a la fibra; $f_{v,k}$: cortante; $E_{m,0,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en flexión; $E_{m,0,k}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión; $E_{t,0,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en tracción; G_{medio} : módulo medio de cortante; ρ_k : densidad característica y ρ_{medio} : densidad media.

A.1.1.2. Asignación de clase resistente de la madera uruguaya

La madera uruguaya de pino clasificada visualmente según la norma UNIT 1261:2018 puede asignarse a una clase resistente C14 y la madera de eucalipto clasificada visualmente según la norma UNIT 1262:2018 a una clase resistente C20.

A.1.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA

La Fig. A.1.2.1 muestra un ejemplo de marcado CE europeo para una pieza de madera laminada encolada estructural. El marcado incluye información de la industria fabricante de las piezas de MLE, que se realizó según los requisitos de fabricación especificados en la norma EN 14080, utilizando adhesivo estructural PUR, y que los resultados de los ensayos

mecánicos para determinar sus propiedades estructurales se corresponden con los de la clase resistente GL24h. Además, se incluye la sección de las piezas, el tipo de ensayo de delaminación que verifica (método B), además de otra información independiente a la calidad estructural de la madera.



a)	b)
	
1070	1070
Compañía 0001 Ciudad	Compañía 0001 Ciudad
10	10
1280-CPD-000Compañía	1280-CPD-000Compañía
EN 14080:2013 Madera laminada encolada	EN 14080:2013 Madera laminada encolada para utilización en edificios y puentes
Clase resistente: GL 24 h	Resistencia mecánica y al fuego:
Tipo de adhesivo: PUR-Tipo IEN	Geometría (mm): 160x800 Clase resistente: GL 24 h
	Resistencia del encolado:
	Clase resistente: GL 24 h Ensayo resistencia encolado: B
	Reacción al fuego: D-s2,d0
	Emisión de formaldehído: E1
	Durabilidad de la resistencia del encolado:
	Especie de madera: <i>Picea abies</i> Adhesivo: MUF, Tipo IGP70s
	Durabilidad natural:
	Contra hongos xilófagos: Clase 5

Figura A.1.2.1. Marcado CE en: a) las piezas de MLE; b) documentación a entregar por el fabricante junto a las piezas vendidas

A.1.2.1. Información de propiedades estructurales

Las Tablas A.1.2.1 y A.1.2.2. muestran los valores característicos y medios de las clases resistentes de la madera laminada encolada homogénea y combinada (EN 14080:2013), con valores de resistencia en MPa, valores de módulo de elasticidad en GPa y de densidad en Kg/m³.

Tabla A.1.2.1. Tabla de clases resistentes de la madera laminada encolada homogénea para cálculo según el método de los estados límite) (tomado de EN 14080:2013)

	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
$f_{t,90,g,k}$				0,5			
$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	39	32
$f_{c,90,k}$				2,5			
$f_{v,g,k}$				3,5			
$E_{m,0,g,medio}$	8400	10500	11500	12100	12600	13600	14200
$E_{0,g,05}$	7000	8000	9600	10100	10500	11300	11800
$E_{90,g,medio}$				300			
$E_{90,g,05}$				250			
$G_{g,medio}$				650			
$G_{g,05}$				540			
$G_{r,g,medio}$				65			
$G_{r,g,05}$				54			
$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
$\rho_{g,medio}$	370	410	420	445	460	480	490

$f_{m,g,k}$: flexión; $f_{t,0,g,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{t,90,g,k}$: tracción perpendicular a la fibra; $f_{c,0,g,k}$: compresión paralela a la fibra; $f_{c,90,g,k}$: compresión perpendicular a la fibra; $f_{v,g,k}$: cortante; $E_{0,g,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en flexión; $E_{0,g,05}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión; $E_{90,g,medio}$: módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra en flexión; $E_{90,g,05}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad perpendicular a la fibra en flexión; $G_{g,medio}$: módulo medio de cortante; $G_{g,05}$: módulo característico de cortante; $G_{r,g,medio}$: módulo medio de cortante por rodadura; $G_{r,g,05}$: módulo característico de cortante por rodadura; $\rho_{g,k}$: densidad característica y $\rho_{g,medio}$: densidad media.

Tabla A.1.2.2. Tabla de clases resistentes de la madera laminada encolada combinada para cálculo según el método de los estados límite) (tomado de EN 14080:2013)

	GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c
$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
$f_{t,90,g,k}$				0,5			
$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
$f_{c,90,k}$				2,5			
$f_{v,g,k}$				3,5			
$E_{m,0,g,medio}$	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
$E_{0,g,05}$	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
$E_{90,g,medio}$				300			
$E_{90,g,05}$				250			
$G_{g,medio}$				650			
$G_{g,05}$				540			
$G_{r,g,medio}$				65			
$G_{r,g,05}$				54			
$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
$\rho_{g,medio}$	390	390	400	420	420	430	440

$f_{m,g,k}$: flexión; $f_{t,0,g,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{t,90,g,k}$: tracción perpendicular a la fibra; $f_{c,0,g,k}$: compresión paralela a la fibra; $f_{c,90,g,k}$: compresión perpendicular a la fibra; $f_{v,g,k}$: cortante; $E_{0,g,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en flexión; $E_{0,g,05}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión; $E_{90,g,medio}$: módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra en flexión; $E_{90,g,05}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad perpendicular a la fibra en flexión; $G_{g,medio}$: módulo medio de cortante; $G_{g,05}$: módulo característico de cortante; $G_{r,g,medio}$: módulo medio de cortante por rodadura; $G_{r,g,05}$: módulo característico de cortante por rodadura; $\rho_{g,k}$: densidad característica y $\rho_{g,medio}$: densidad media.

Las combinaciones de clase resistente de las láminas y resistencia de las uniones *finger joint* que deben cumplir cada una de las clases resistentes se detallan en las Tablas 2 y 3 de la norma EN 14080:2013.

A.2. MERCADO DE MADERA ASERRADA ESTADOUNIDENSE

El estampado de sellos en la madera aserrada para uso estructural es realizado por organismos independientes a las empresas madereras, y su propósito es garantizar que cada pieza de madera que se comercializa en el mercado cuenta con las propiedades estructurales que el fabricante declara. Estos sellos indican el cumplimiento con una serie de ensayos y controles de calidad, tanto por parte del fabricante como por la agencia u organismo certificador. La Fig. A.2.1 muestra un ejemplo de sello para una pieza de madera aserrada clasificada según SPIB.

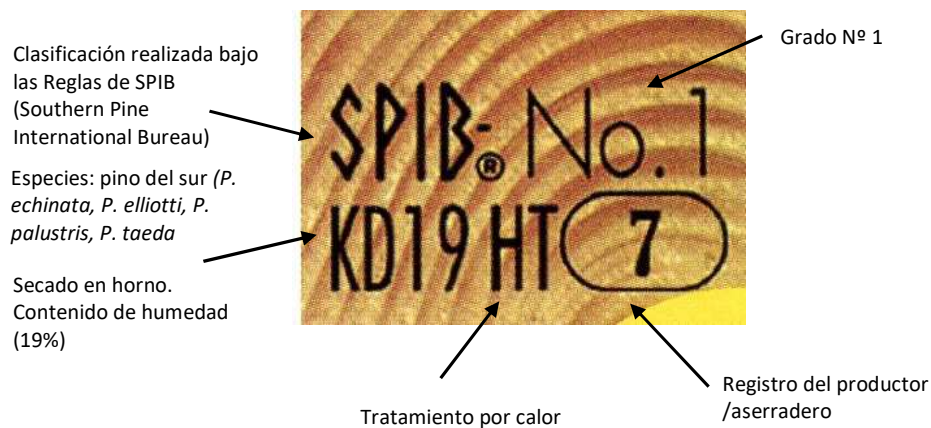


Figura A.2.1. Sello de clasificación según reglas del Southern Pine International Bureau.

Se puede encontrar más información sobre las reglas de clasificación de SPIB y de las propiedades estructurales en los siguientes enlaces:

http://www.spib.org/docs/2dimension_sp.pdf

<http://www.spib.org/pdfs/design-values-tables-footnotes-2014.pdf>

A.2.1. Información de propiedades estructurales

El sello de la Fig. A.2.1. indica el grado estructural de la madera aserrada. A modo informativo, la Tabla A.2.1 indica las propiedades de referencia para el diseño según el método de las tensiones admisibles, de la madera de pino impregnado grado Nº1, importada de EEUU y clasificada según las reglas del SPIB.

Tabla A.2.1. Valores de diseño (para el diseño según el método de las tensiones admisibles) de referencia para madera aserrada grado N°1 de pino del sur (mixed southern pine) (Adaptado de NDS, 2018)

Propiedad		2 x 4 ¹	2 x 6 ¹	3 x 6 ¹	3 x 8 ¹
		(38 x 89 mm)	(38 x 140 mm)	(76 x 140 mm)	(76 x 185 mm)
Flexión	F_b (N/mm ²)	9,9	8,9	8,9	8,3
Tracción paralela a la fibra	$F_{t,0}$ (N/mm ²)	6,0	5,2	5,2	4,8
Corte paralelo a la fibra	F_v (N/mm ²)	1,2	1,2	1,2	1,2
Compresión perpendicular a la fibra	$F_{c,90}$ (N/mm ²)	3,9	3,9	3,9	3,9
Compresión paralela a la fibra	$F_{c,0}$ (N/mm ²)	11,4	10,7	10,7	10,0
Propiedades de rigidez					
Módulo de elasticidad medio	E (N/mm ²)	10342	10342	10342	10342
Módulo de elasticidad mínimo	E_{min} (N/mm ²)	3792	3792	3792	3792

¹ Denominación de origen (en pulgadas). Entre paréntesis dimensiones netas en mm (4 caras cepilladas)

A efectos orientativos, la Tabla A.2.2 presenta valores característicos de resistencias estimados a partir de los establecidos en la Tabla A.2.1, y de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$F_k = F_{adm} \times n$$

donde,

n es un coeficiente de ajuste que depende del tipo de sollicitación: $n=2,1$ para flexión y tracción paralela, $n=1,9$ para compresión paralela, $n=1,7$ para compresión perpendicular y $n=4,5$ para corte paralelo (ASTM D 1990-07, 2011).

Tabla A.2.2. Valores característicos de resistencias y valores medios de rigidez para madera aserrada grado Nº1 de pino del sur (mixed southern pine) (Estimados de acuerdo a ASTM D 1990-07, 2011)

Propiedad		2 x 4 ¹	2 x 6 ¹	3 x 6 ¹	3 x 8 ¹
		(38 x 89 mm)	(38 x 140 mm)	(76 x 140 mm)	(76 x 185 mm)
Flexión	$F_{b,k}$ (N/mm ²)	20,7	18,7	18,7	17,4
Tracción paralela a la fibra	$F_{t,0,k}$ (N/mm ²)	12,6	10,9	10,9	10,0
Corte paralelo a la fibra	$F_{v,0,k}$ (N/mm ²)	5,4	5,4	5,4	5,4
Compresión perpendicular a la fibra	$F_{c,90,k}$ (N/mm ²)	6,6	6,6	6,6	6,6
Compresión paralela a la fibra	$F_{c,0,k}$ (N/mm ²)	21,6	20,3	20,3	17
Propiedades de rigidez					
Módulo de elasticidad medio	E (N/mm ²)	10342	10342	10342	10342
Módulo de elasticidad mínimo	E_{min} (N/mm ²)	3792	3792	3792	3792

¹ Denominación de origen (en pulgadas). Entre paréntesis dimensiones netas en mm (4 caras cepilladas)

A.3. SELLO DE TABLEROS CONTRACHAPADOS

Los tableros contrachapados de producción nacional cuentan con sellos de certificación técnica de la agencia estadounidense TECO, y de la británica BM TRADA. Los sellos de cada agencia son estampados alternativamente en los tableros en función del mercado al cual son dirigidos: i) para América las especificaciones del sello de TECO están en unidades del sistema imperial y son consistentes con las normas de cálculo estructural NDS for Wood Construction (2018), y de ensayos norteamericanas; ii) para Europa las especificaciones del sello de BM TRADA están en unidades del sistema internacional y son consistentes con los Eurocódigos y las normas europeas.

La Fig. A.3.1 muestra un ejemplo de sello de la agencia TECO para tablero contrachapado de *Eucalyptus grandis* producido y comercializado en Uruguay. Se puede encontrar información adicional sobre los contenidos del sello en el siguiente enlace:

http://www.tecotested.com/techtips/pdf/tt_gradestampps1ps2

Producto que cumple con la norma de producción voluntaria *PS 1* para contrachapado estructural del Dpto. de Comercio de EEUU

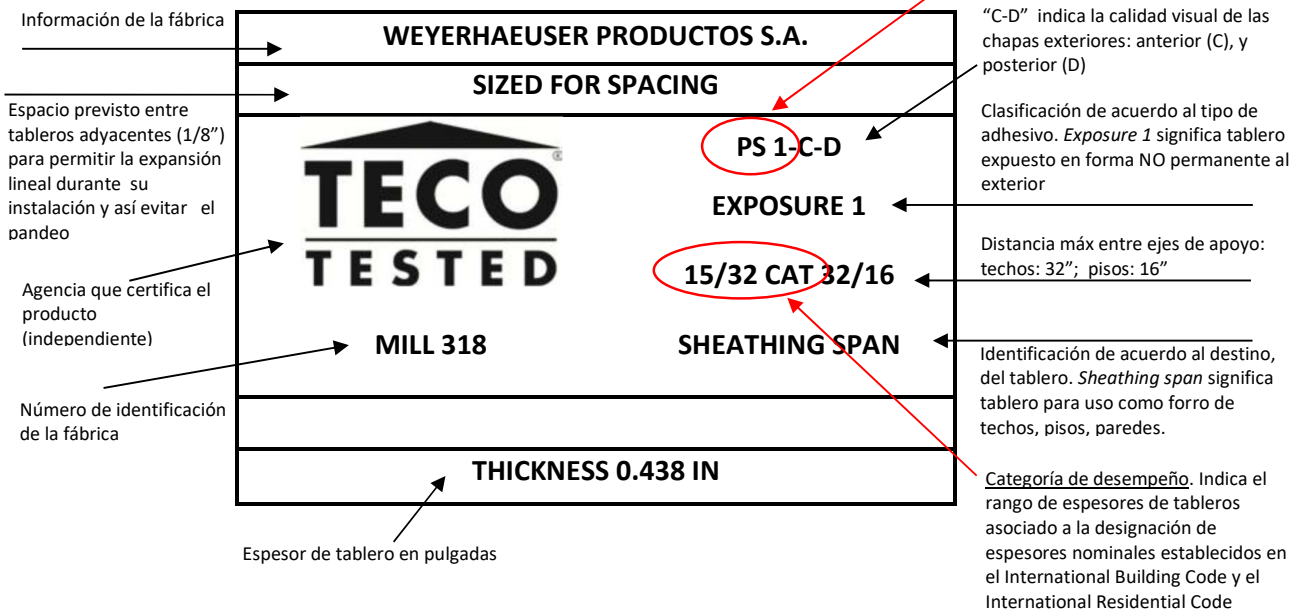


Figura A.3.1. Sello de certificación técnica de tablero contrachapado producido en Uruguay (Adaptado de <http://www.tecotested.com/>)

A.3.1. Información de propiedades estructurales de tableros contrachapados de producción nacional

Las propiedades mecánicas y densidad de los tableros contrachapados estructurales de eucalipto y pino, respectivamente, se encuentran disponibles en la página del fabricante a través de los siguientes enlaces:

https://www.lumin.com/repo/arch/ecdoptgeucaenglish_0.pdf

https://www.lumin.com/repo/arch/ecdopsqpineenglish_0.pdf

A modo informativo, se presentan las Tablas A.3.1.1 y A.3.1.2 con las propiedades estructurales de los tableros de *Eucalyptus grandis*.

Tabla A.3.1.1. Propiedades mecánicas y densidad de tableros contrachapados de eucalipto
(Adaptado de: https://www.lumin.com/repo/arch/ecdoptgeucaenglish_0.pdf)

Propiedades estructurales		Desempeño según espesor		
		12 mm	15 mm	18 mm
Panel Layup ¹		EEE	EEEEE	EEEEE
		EPPE	EPEPE	EPEPE
			EEPEE	EEPEE
				EPPE
Resistencia característica^{2,3} (N/mm²)				
Flexión paralela a la fibra	$f_{m,0,k}$	20.0	20.0	20.0
Flexión perpendicular a la fibra	$f_{m,90,k}$	10.0	10.0	10.0
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	NPD*	NPD*	NPD*
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	NPD*	NPD*	NPD*
Cortante a través del espesor	$f_{v,k}$	3.0	3.0	3.0
Cortante de rodadura	$f_{r,k}$	0.5	0.5	0.5
Rigidez media⁴ (N/mm²)				
Flexión paralela a la fibra	$E_{m,0}$	3000	3000	3000
Flexión perpendicular a la fibra	$E_{m,90}$	1000	1000	1000
Cortante a través del espesor	G_v	300	300	300
Cortante de rodadura	G_r	20	20	20
Densidad (kg/m³)				
Densidad característica ²	ρ_k	430	430	430
Densidad media ⁵	ρ_{mean}	480	480	480

¹ P=Pino; E=Eucalipto

² "Característico"=5to percentil inferior, calculado de acuerdo a EN 636:2012+A1:2015

³ Los valores característicos están de acuerdo a los especificados en EN 12369-2:2004 y deben ser modificados para la clase de servicio establecida en EN 1995-1-1 usando los factores de modificación k_{mod} y k_{def} relevantes

⁴ El valor característico de la rigidez debe considerarse como 0.8 del valor medio

⁵ El valor medio de la densidad para diseño debe considerarse como 1.1 del valor característico

* NDP: Parámetro No Determinado

La Tabla A.3.1.1 permite simplificar la elección del tablero a partir del destino (techos o pisos), la categoría de uso y espesor/separación máxima entre apoyos, según datos de la empresa fabricante (Lumin, 2017).

Tabla A.3.1.2. Propiedades de desempeño de tableros contrachapados de eucalipto (adaptado de https://www.lumin.com/repo/arch/ecdooptgeucaenglish_0.pdf)

Propiedades fundamentales			Desempeño según espesor		
			12 mm	15 mm	18 mm
Panel Layup¹					EEEEEE
			EEE	EEEE	EEEE
			EPPE	EPEPE	EPEPE
				EEPEE	EEPEE
					EPPE
Techos- Categoría de uso H- separación máxima entre apoyos:			610mm		
Carga puntual característica	(kN)	$F_{max,k}$	2.50	2.50	4.04
Rigidez media	(kN)	R_{mean}	107	109	77
Carga puntual de servicio	(kN)	$F_{ser,k}$	1.81	2.35	3.20
Clase de resistencia de impacto de cuerpo blando			I	I	I
Techos- Categoría de uso H- separación máxima entre apoyos:			1220mm		
Carga puntual característica	(kN)	$F_{max,k}$	NPD*	NPD*	4.04
Rigidez media	(kN)	R_{mean}	NPD*	NPD*	99
Carga puntual de servicio	(kN)	$F_{ser,k}$	NPD*	NPD*	5.78
Clase de resistencia de impacto de cuerpo blando			NPD*	NPD*	II
Pisos- Categoría de uso A- separación máxima entre apoyos:			500mm		
Carga puntual característica	(kN)	$F_{max,k}$	NPD*	NPD*	4.04
Rigidez media	(kN)	R_{mean}	NPD*	NPD*	496
Carga puntual de servicio	(kN)	$F_{ser,k}$	NPD*	NPD*	5.78
Clase de resistencia de impacto de cuerpo blando			NPD*	NPD*	I

NOTA: En aplicaciones para pisos o techos los tableros deben colocarse con su lado menor soportado por vigas/cabios/tirantes principales

¹ P=Pino; E=Eucalipto; *NPD: Parámetro No Determinado

A.4. SELLO APA DE TABLEROS OSB

La mayoría de los tableros OSB que se ofrecen en el mercado nacional cuentan con certificación de calidad de la agencia estadounidense APA, cuyos sellos de certificación están en unidades del sistema imperial y son consistentes con las normas de cálculo estructural NDS for Wood Construction, y de ensayos norteamericanas.

La Fig. A.4.1 muestra un ejemplo de sello para tablero OSB que se comercializa en Uruguay. Los contenidos del sello son similares a los del tablero contrachapado. Se puede encontrar información adicional en el siguiente enlace:

<http://lpcorp.com/media/1332/lp-longlength-osb-sheathing-specification-english.pdf>



Figura A.4.1. Sello de certificación técnica de tablero OSB (Extraído de <http://www.apawood.org/>)

En el siguiente enlace se encuentra información adicional, guías prácticas de instalación, etc, generalmente están disponibles en las páginas de las empresas productoras, y en las de las agencias certificadoras (ejemplo: LP, APA, TECO, etc): <http://osbguide.tecotested.com/pdfs/en/tm420.pdf>

A.4.1. Información de propiedades estructurales de tableros OSB

Las propiedades mecánicas y densidad de los tableros OSB estructurales se encuentran disponibles en la página de los respectivos fabricantes.

A modo orientativo, la Tabla A.4.1 reproduce parte de la ficha técnica de tableros para uso en ambiente seco (OSB/2) y para uso en ambiente húmedo (OSB/3) clasificados de acuerdo a la norma EN 300 (2007).

Tabla A.4.1. Propiedades físicas y mecánicas de tableros OSB para uso en ambiente seco, y para uso en ambiente húmedo (Adaptado de CTE SE-M, 2009)

Propiedades estructurales		Espesor nominal	
		$t \leq 10 \text{ mm}$	$10 < t < 18 \text{ mm}$
Resistencia característica (N/mm²)			
Flexión paralela a la fibra	$f_{m,0,k}$	18,0	16,4
Flexión perpendicular a la fibra	$f_{m,90,k}$	9,0	8,2
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	15,9	15,4
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	12,9	12,7
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	9,9	9,4
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	7,2	7,0
Cortante a través del espesor	$f_{v,k}$	6,8	6,8
Cortante de rodadura	$f_{r,k}$	1,0	1,0
Rigidez media (N/mm²)			
Flexión paralela a la fibra	$E_{m,0,p}$	4930	4930
Flexión perpendicular a la fibra	$E_{m,90,p}$	1980	1980
Compresión paralela a la fibra	$E_{c,0,p}$	3800	3800
Compresión perpendicular a la fibra	$E_{c,90,p}$	3000	3000
Tracción paralela a la fibra	$E_{t,0,p}$	3800	3800
Tracción perpendicular a la fibra	$E_{t,90,p}$	3000	3000
Cortante a través del espesor	$G_{v,p}$	1080	1080
Cortante de rodadura	$G_{r,p}$	50	50
Densidad (kg/m³)			
Densidad característica	ρ_k	550	550

ANEXO B. REQUISITOS MÍNIMOS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Los requisitos de fabricación de la madera laminada encolada en Uruguay que se presentan a continuación se basan en resultados de trabajos de investigación que han adaptado las exigencias de la norma europea EN 14080:2013 a la tecnología disponible en el país.

B.1. TOLERANCIAS DIMENSIONALES

La Tabla b.1.1 presenta las tolerancias dimensionales de las piezas de MLE, expresadas en desviaciones máximas en las medidas para elementos rectos y curvos, obtenido de la norma EN 14080:2013.

Tabla B.1.1. Desviaciones máximas en las medidas de la MLE

Medidas nominales para		Desviaciones máximas	
		Elementos rectos	Elementos curvos
Ancho sección transversal (b)		2mm	
Canto	$h \leq 400\text{mm}$	+4mm a -2mm	
	$h > 400\text{mm}$	+1% a -0,5%	
Desviación angular máxima de la sección transversal respecto al ángulo recto		1:50	
Longitud de un elemento recto o longitud desarrollada de un elemento curvo	$l \leq 2\text{m}$	2mm	
	$2\text{m} \leq l \leq 20\text{m}$	0,1%	
	$l > 20\text{m}$	20mm	
Curvatura longitudinal medida por la deformación máxima de un tramo de 2m sin considerar contraflecha		4mm	-
Flecha medida por metro de longitud desarrollada	≤ 6 láminas	-	4mm
	> 6 láminas	-	2mm

B.2. SECADO DE TABLAS

Las tablas de madera se secarán a un contenido de humedad en el momento de encolado entre el 6% y el 15% para madera sin tratamiento protector y entre el 11% y el 18% cuando la madera fue tratada en profundidad mediante la aplicación de tratamiento protector en autoclave.

La diferencia de contenido de humedad de las tablas a encolar debe ser menor o igual al 5%.

B.3. CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL

Las tablas utilizadas para formar las láminas que configurarán los elementos de MLE serán clasificadas visualmente de acuerdo a las normas UNIT 1261:2018 y UNIT 1262:2018 para madera de *Pinus elliottii/taeda* y *Eucalyptus grandis* respectivamente. Las especificaciones de clasificación se presentan, a efectos informativos, en las Tablas 5 y 8 del presente documento.

B.4. TIPOS DE ADHESIVOS ESTRUCTURALES PARA EL ENCOLADO DE LAS LÁMINAS Y DE LAS UNIONES *FINGER*

Los tipos de adhesivos estructurales aceptados por la norma EN 14080 (2013) para la fabricación de productos de madera laminada encolada, así como los grosores máximos permitidos para cada tipo de adhesivo se presentan en la Tabla B.4.1. Si el fabricante de adhesivo especifica un grosor máximo, se aplicará el menor entre el indicado por el fabricante y el indicado en la Tabla B.4.1.

Tabla B.4.1. Tipos de adhesivos estructurales para fabricación de MLE y grosores máximos de línea de cola

Tipo de adhesivo	Grosor máximo de línea de cola	
	Aplicación conjunta de adhesivo y endurecedor	Aplicación separada de adhesivo y endurecedor
Fenólicos y aminoplásticos (MF, MUR, PRF, UF)	0,6 mm	0,3 mm
Poliuretano monocomponente de curado en húmedo (PUR)		
Isocianato y polímeros de emulsión (EPI)		0,3 mm

Adicionalmente la Tabla B.4.2 indica los tipos de adhesivos estructurales aceptados por la norma EN 14080 (2013) y su posible aplicación para las distintas clases de servicio.

Tabla B.4.2. Tipos de adhesivos estructurales a aplicar en función de la clase de servicio

Tipo de adhesivo	Clase de servicio		
	1	2	3
Fenólicos y aminoplásticos (MF, MUR, PRF, UF)	SI	SI	SI
Poliuretano monocomponente de curado en húmedo (PUR)	SI	SI	NO
Isocianato y polímeros de emulsión (EPI)	SI	SI	NO

B.5. EMPALMES POR UNIÓN DENTADA (*FINGER-JOINT*) PARA PRODUCCIÓN DE LÁMINAS

Las uniones dentadas o *finger-joint* permiten generar láminas de longitudes ilimitadas, a partir de trozos de madera denominados “bloques”, extraídos de tablas de madera aserrada, que son unidos por sus testas mediante adhesivos estructurales y presión. La técnica del *finger-joint*, permite obtener bloques “saneados”, esto es, libres de zonas defectuosas o singularidades mayores a los límites definidos en las normas de

clasificación visual estructural UNIT. Estos empalmes son puntos débiles generados por concentración de tensiones en la zona cercana al diente, por lo cual es deseable fabricar láminas con la menor cantidad de uniones dentadas; es decir con bloques de la mayor longitud posible. En todos los casos, la longitud de los bloques deberá ser igual o mayor a 400 mm.

Además, la zona de unión dentada debe de estar libre de singularidades o defectos de la madera y la distancia mínima entre un eventual nudo y el *finger-joint* debe ser de tres veces el diámetro del nudo ($3d$), tal como se indica en la Fig. A5.1.

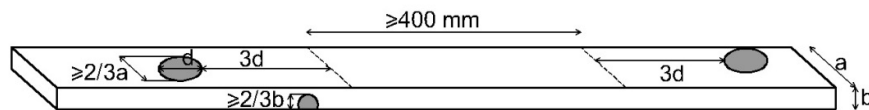
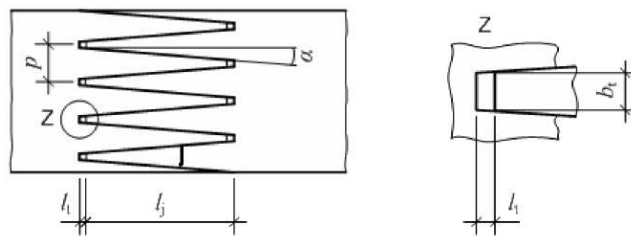


Figura A5.1. Esquema de saneado de tablas

Las uniones se encolarán con el mismo tipo de adhesivo estructural que el utilizado para la unión entre láminas. El adhesivo se aplicará de forma manual cuando sea necesario realizar la mezcla de adhesivo y endurecedor previamente; o con máquina, normalmente aplicando adhesivo y endurecedor por separado.

La Figura B.5.2 muestra la geometría de la unión dentada y la Tabla A5.1 los valores mínimos recomendados de dicha geometría.



- Leyenda
- l_d Longitud del diente
 - p Paso
 - α Ángulo del dentado
 - l_t Holgura en la punta
 - b_t Anchura de la punta

Figura B.5.2. Empalmes *finger-joint* en tablas para configurar las láminas (EN 14080:2013)

Tabla B.5.1. Geometría mínima para el dentado

Longitud de diente, l (mm)	Paso, p (mm)	Anchura de diente, b_t (mm)	Factor de reducción, $\square = b_t/p$
15	3,8	0,42	0,11

La Tabla B.5.2 recoge las exigencias del proceso de fabricación de la unión dentada o *finger joint*.

Tabla B.5.2. Exigencias en la fabricación de la unión dentada o *finger joint*

Tiempo entre mecanizado y dentado (horas)	Presión de prensado mínima (N/mm ²)	Tiempo de prensado de la unión (s)	T ^a de la madera en la línea de cola durante el curado (°C)
6	10	1	18

A.6. CEPILLADO DE LÁMINAS

Una vez realizadas las uniones dentadas, las láminas se cepillarán hasta alcanzar un espesor constante (mm). El espesor de las láminas para las clases de servicio 1, 2 y 3, así como el tiempo máximo entre el cepillado de las láminas y el encolado se presenta en la Tabla B.6.1.

Tabla B.6.1. Espesor de láminas y tiempo máximo entre cepillado de láminas y encolado

Espesor de lámina (mm)		Tiempo máximo entre cepillado y encolado (horas)	
Clases servicio 1 y 2	Clase servicio 3	Madera sin impregnar	Madera impregnada
6-45	≤ 35	24	6

Para la MLE de directriz curva, el grosor de la lámina máximo se definirá en función del radio de curvatura según la ecuación:

$$t = (r/250) [1 + (f_{m,j,dc,k}/150)]$$

donde,

t , es el espesor de lámina,

r , es el radio de curvatura de la lámina de menor radio del elemento (mm)

$f_{m,j,dc,k}$, es el valor característico de resistencia a flexión declarado por el fabricante para los empalmes por unión dentada (N/mm²).

A.7. TOLERANCIAS DE GROSOR MEDIO DE LAS LÁMINAS

La Tabla A7.1 muestra las tolerancias de grosor medio de las láminas que configuran las vigas de MLE en función del tipo de adhesivo utilizado.

Tabla B.7.1. Tolerancia en el grosor medio de las láminas en función del tipo de adhesivo

Tipo de adhesivo utilizado en el encolado de las láminas	Desviación máxima respecto al grosor medio (mm)	
	En el ancho (b)	En una longitud de lámina de 1 m
Adhesivo fenólico y aminoplástico mezclados antes de la aplicación		0,2mm
Adhesivo fenólico y aminoplástico con aplicación por separado entre cola y endurecedor	mín (0,0015b; 0,3)	0,1mm
Adhesivos de poliuretano monocomponentes de curado en húmedo (PUR) y adhesivos de isocianato y polímeros de emulsión (EPI) con grosor de línea de cola de 0,5mm	mín (0,0015b; 0,15)	0,1mm

B.8. ENCOLADO DE LÁMINAS Y CONFIGURACIÓN DE ELEMENTOS DE MLE

Las láminas que conforman la MLE, serán apiladas de forma tal de mantener una distancia entre endentados de dos láminas contiguas mayor a 120 mm, tal como se indica en la Figura B.8.1.

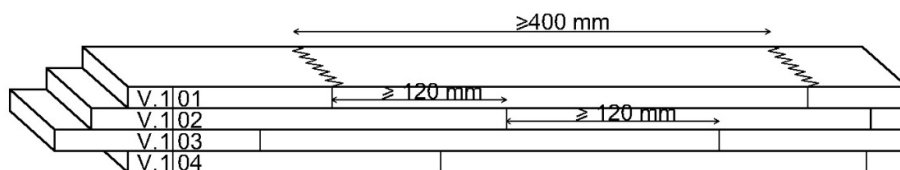


Figura B.8.1. Configuración de vigas

Adicionalmente, en la clase de servicio 3 se exige que las láminas se orienten, según la dirección transversal, con el corazón o médula hacia el mismo lado, excepto las láminas exteriores donde el corazón se orientará hacia el exterior. Se deberá tener especial precaución en que cada uno de los bloques que conforman una lámina esté orientado hacia el mismo lado, de modo tal que la lámina resultante quede con la médula hacia el mismo lado.

En las clases de servicio 1 y 2, se admite que todas las láminas que configuran la MLE estén orientadas hacia el mismo lado, aunque se recomienda que se orienten de la misma manera que en la clase de servicio 3. La Figura B.8.2 muestra la orientación de láminas dentro de la sección transversal de un elemento de MLE para las distintas clases de servicio.

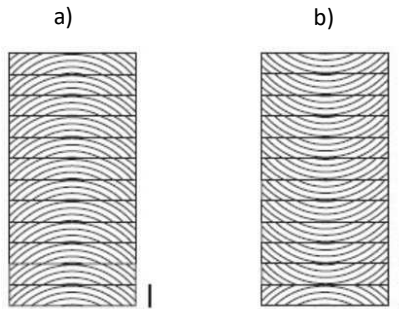


Figura B.8.2. Orientación de láminas de acuerdo a la clase de servicio: a) para clases 1 y 2, b) para clase 3

B.9. PRENSADO Y FRAGUADO

La presión debe mantenerse constante durante el prensado.

Los valores de presión de prensado se indican en la Tabla B.9.1.

Tabla B.9.1. Presión de prensado de las láminas

Espesor de lámina (mm)	≤ 35 mm	35-45 mm
Presión de prensado (N/mm ²)	0,6-0,8	0,8

Durante el curado bajo presión y durante el tiempo requerido después del curado, la temperatura de la madera debe ser mayor o igual a 18°C.

B.10. CEPILLADO FINAL Y ACABADO

Una vez finalizado el proceso de fabricación de los elementos de MLE, se realizará un cepillado final para eliminar los restos de adhesivo entre láminas.

B.11. CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN Y ALMACENAMIENTO

La Tabla B.11.1 especifica las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire que debe existir en las instalaciones durante el proceso de fabricación y curado de las vigas de MLE y son éstas las condiciones que debe reflejar el informe de control de calidad del producto entregado por el fabricante.

Tabla B.11.1. Temperatura y humedad relativa ambiental de las instalaciones

Proceso	T° ambiente (°C)	Humedad relativa aire (%)
Fabricación	≤15	40-75
Curado	≤18	≤30

B.12. CLASES RESISTENTES DE MADERA LAMINADA ENCOLADA DE PRODUCCIÓN NACIONAL

A la fecha no existe en el mercado MLE estructural de producción nacional y tampoco normas UNIT para la misma.

A efectos informativos se presenta la Tabla B.12.1 con valores de las propiedades de flexión de MLE fabricada con láminas de *Eucalyptus grandis* clasificadas como EF1 de acuerdo con la norma UNIT 1262:2018 y adhesivo estructural de poliuretano monocomponente (PUR), y de acuerdo a los requisitos de fabricación establecidos en el presente **ANEXO B**, obtenidos a partir de trabajos de investigación.

Tabla B.12.1. Propiedades de flexión y densidad de vigas de madera laminada encolada de *Eucalyptus grandis* de sección 74x194 mm² (Moya et al. 2018)

Resistencia de flexión, valor medio: $f_{m,g,m}$	44,7 N/mm ² (COV=25%)
Resistencia característica de flexión ⁽¹⁾ : $f_{m,g,k}$	25,3 N/mm ²
Módulo de elasticidad global, valor medio ⁽²⁾ : $E_{0,g,m}$	13760 N/mm ² (COV=12%)
Densidad característica ⁽²⁾ : $\rho_{g,k}$	504 kg/m ³

⁽¹⁾ Valor corregido a la altura de referencia de 600 mm de la viga y al espesor de referencia de 40 mm de la lámina de acuerdo a EN 14080;

⁽²⁾ Valores corregidos al contenido de humedad de referencia de 12% de acuerdo a EN 14080

Las propiedades de la MLE indicadas en la Tabla B.12.1 permitirían su asignación a la clase resistente GL24h de la norma EN 14080:2013.

ANEXO C. REQUISITOS MÍNIMOS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA CONTRALAMINADA

Los requisitos de fabricación de la madera contralaminada encolada en Uruguay que se presentan a continuación, se basan en resultados de trabajos de investigación que han adaptado las exigencias de la norma europea EN 16351:2016 a la tecnología disponible en el país.

C.1. LAMINAS

La fabricación de los paneles CLT presenta varios puntos en común con los pasos seguidos en la confección de elementos de madera laminada encolada (Figura C1.1) siendo la principal diferencia la conformación geométrica del elemento. Es por ello que aplican los mismos requisitos de fabricación de las láminas de MLE para el secado, clasificación mecánica, adhesivos, *finger joint*, cepillado y tolerancias que se detallan en los apartados C.2, C.3, C.4, C.5, C.6 y C.7 respectivamente.

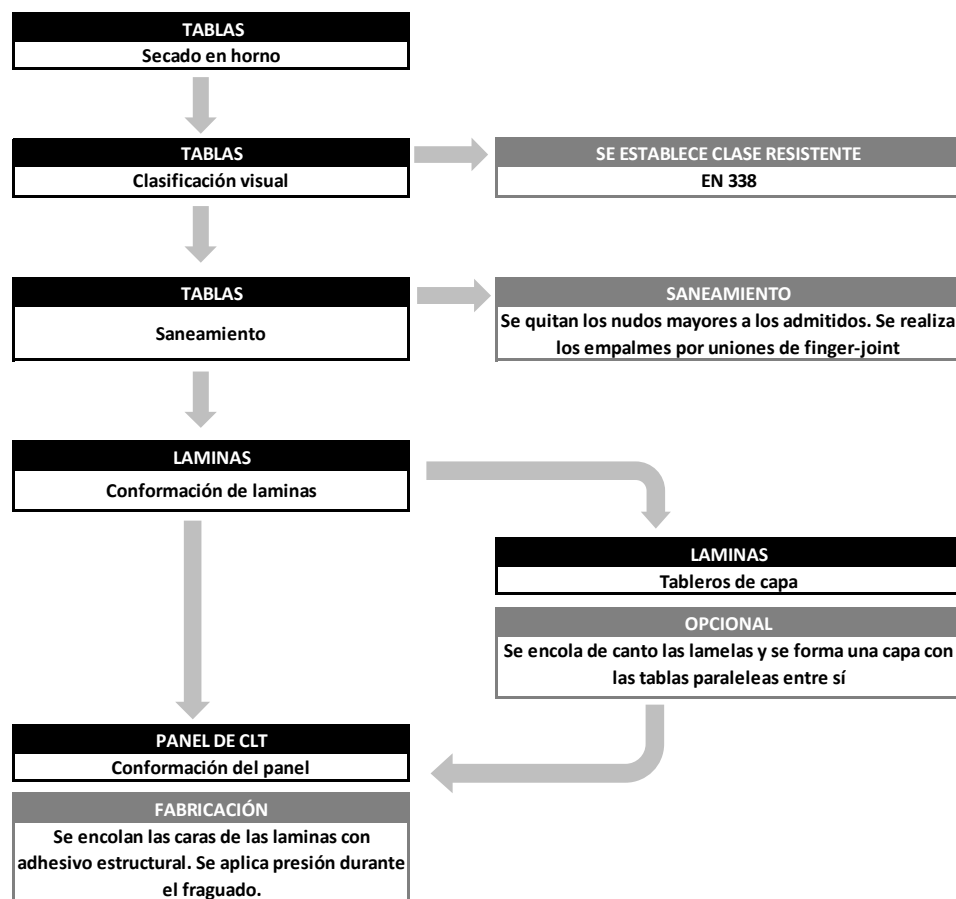


Figura C.1.1. Esquema de fabricación de la madera contralaminada

C.2. CAPAS

Cada panel deberá componerse de al menos tres capas, que deberán estar dispuestas de forma ortogonal entre sí, cada una de las capas debe estar constituida por tablas de la misma clase resistente.

El espesor cepillado de cada lámina deberá ser mayor o igual 12mm y menor que 40mm. El ancho máximo de las láminas deberá ser menor o igual a 300mm. La relación entre el ancho y el espesor de las láminas deberá ser inferior a 4. El espesor total del panel de madera contralaminada no podrá superar los 400mm.

Láminas contiguas en una capa puede encolarse de canto o no, siendo el espesor de las separaciones entre láminas menor que 6mm.

C.3. ENCOLADO DE LÁMINAS Y APLICACIÓN DEL ADHESIVO

Las superficies de unión deben estar limpias y libres de polvo. Se recomienda no dejar pasar más de 24 horas entre el cepillado de las láminas y el encolado del panel.

El adhesivo se podrá aplicar de forma manual o con máquina, siguiendo las recomendaciones del fabricante del mismo en cuanto a temperaturas de aplicación, tiempo máximo de aplicación y la dosificación por m².

C.4. PRENSADO Y FRAGUADO

Aplican los requisitos del apartado B.9.

C.5. CEPILLADO FINAL Y ACABADO

Una vez finalizado el proceso de fabricación de los elementos madera contralaminada, se realizará un cepillado final para eliminar los restos de adhesivo entre láminas.

C.6. CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Aplican los requisitos del apartado B.11.

ANEXO D. INFORMES DE LOS ENSAYOS INICIAL TIPO (EIT) Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN FÁBRICA (CPF) A SUMINISTRAR POR EL FABRICANTE DE MADERA ESTRUCTURAL

D.1. MADERA ASERRADA

D.1.1. Madera clasificada visualmente según normas UNIT 1261 Y UNIT 1262

La madera clasificada visualmente según las calidades visuales de las normas UNIT 1261 y UNIT 1262 deberá estar debidamente marcada (en la tabla o en el paquete) y el suministrador deberá entregar un certificado que garantice que las tablas se han clasificado de acuerdo con dichas normas. En ese caso, las propiedades mecánicas de la madera que se podrían usar en el cálculo estructural serían las mostradas en los anexos de las correspondientes normas.

El certificado a entregar por el suministrador deberá incluir, al menos, la siguiente información: calidad visual, contenido de humedad, sección en milímetros, propiedades mecánicas o clase resistente, normas de referencia y especie. Las tolerancias dimensionales de las piezas deberán cumplir lo exigido en la norma UNIT 1263:2018.

Para más información de contenido de los certificados o sellos de calidad estructural ver **ANEXO A**.

D.1.2. Madera clasificada de forma diferente a las normas UNIT 1261 y UNIT 1262

En el caso de declarar que la madera se ha clasificado de forma diferente a la de la norma, deberá incluirse la información correspondiente a los ensayos que se definen en la Figura D.1.1.

La declaración de las nuevas limitantes propuestas a los criterios de calidad deberá presentarse en un formato similar al presentado en las Tablas 5 y 8 del presente documento. La Tabla D.1.1 muestra el modelo de registro requerido para la asignación de los valores característicos de las propiedades estructurales de una calidad visual y una procedencia.

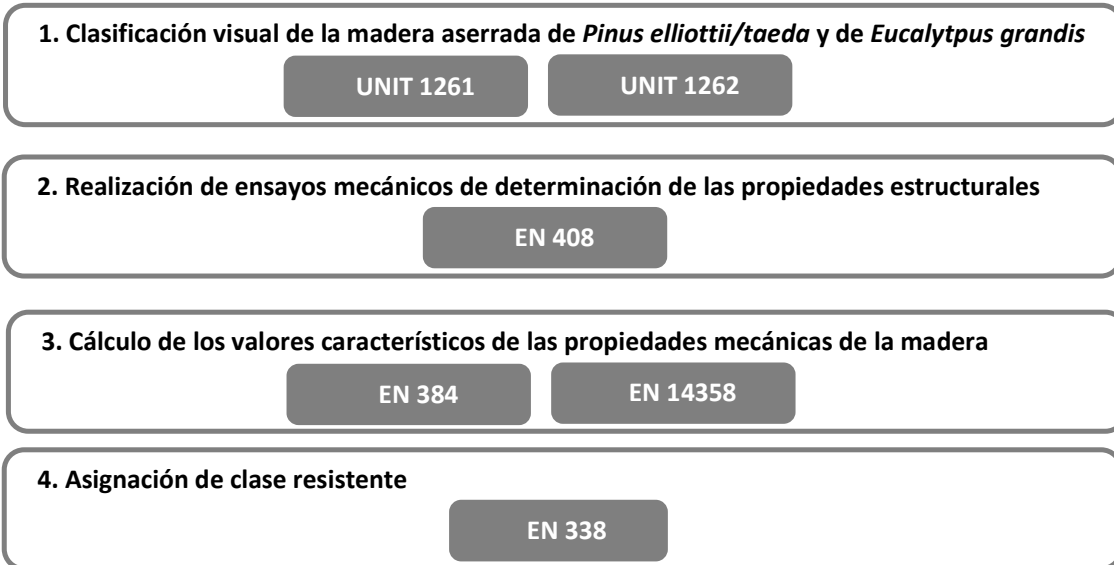


Figura D.1.1. Normativa para la determinación de los valores característicos de las propiedades estructurales

Tabla D.1.1. Modelo de registro para declarar los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de una clase y una procedencia (tomada de EN 384:2016)

Características de la submuestra para la calidad estudiada:	"Calidad A"	Contenido de humedad de ensayo [%]		Resistencia corregida ^a [MPa]				Módulo de elasticidad corregido ^a [GPa]		Densidad corregida ^a [kg/m ³]		
		Media	COV	Media	COV	P/NP ^b	$f_{05,i}$	\bar{E}_i	COV	Media	COV	$\rho_{05,i}$
Procedencia	Nº de probetas (N ≥ 40)			<i>Véase EN 14358:2006 apartado 4.2</i>				<i>Véase EN 14358:2006 apartado 4.3</i>		<i>Véase EN 14358:2006 apartado 4.2</i>		
Media y COV para la calidad												
NOTA Las referencias a las normas son solamente orientativas.												
^a Valores corregidos se refiere a los resultados después de aplicar a los resultados de ensayo los ajustes del apartado 5.4.												
^b Aplicación de cálculo paramétrico o no paramétrico.												

La norma EN 384 remite a la norma EN 14358 para determinar los valores característicos (quinto percentil o valor medio) de la resistencia a flexión, módulo de elasticidad longitudinal y densidad.

D.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA

El productor de madera laminada encolada estructural (MLE) debe declarar cuáles son los valores característicos de las propiedades físico-mecánicas de la madera laminada

encolada estructural (MLE), necesarios para el dimensionado de vigas, pilares, etc., de acuerdo con sus condiciones de fabricación. Para ello, es necesario que realice los ensayos iniciales tipo (EIT) correspondientes a la declaración de su producto estructural.

D.2.1. Informe del Ensayo Inicial Tipo

La empresa declarará las propiedades mecánicas de la MLE para las condiciones de fabricación declaradas. El Ensayo Inicial Tipo es el realizado sobre un número de probetas definido por norma por cada producto y turno de producción y se hace para demostrar la conformidad con la norma europea EN 14080:2013, siendo estrictamente rigurosos con el método de ensayo y requisitos de fabricación.

Este es obligatorio siempre que se inicie la fabricación de un nuevo producto o se modifique uno existente, cuando se modifica el método de fabricación y cuando se produzcan cambios de diseño de los productos, de las materias primas, etc. El informe resultante del Ensayo Inicial Tipo debe ser conservado por el fabricante durante 10 años desde la fecha de fabricación y debe ser suministrado al comprador siempre que este lo requiera.

Se presentará un informe que incluya los resultados de todos los ensayos exigidos, definidos en la Tabla D.2.1., e incluirá una declaración de propiedades estructurales para sus condiciones de fabricación, con los contenidos mínimos definidos en la Tabla D.2.2.

Tabla D.2.1. Resumen de EIT para cada especie, adhesivo y declaración de resistencia

	PRODUCTO	TIPO DE ENSAYO	NORMA	Nº ENSAYOS	RESULTADOS
1	LÁMINAS DE MADERA	CLASIFICACIÓN VISUAL1	UNIT 1262:2018		Declaración de la calidad visual EF11
2	“FINGER-JOINT” EN LÁMINAS	ENSAYO DE FLEXIÓN O DE TRACCIÓN	EN 408 EN 384 EN 14358	100 láminas	Valor característico de resistencia a flexión y/o tracción
3	MADERA LAMINADA ENCOLADA	ENSAYO DE FLEXIÓN	EN 408 EN 14358	30 vigas	Valor característico de la resistencia a flexión, del módulo de elasticidad y de la densidad2
		EN EL “FINGER JOINT”	EN 408	Se determina sobre las mismas 100 láminas	% probetas con rotura por madera
4	CALIDAD DEL ENCOLADO	EN LOS PLANOS DE ENCOLADO DE LAS LÁMINAS	ENSAYO DE DELAMINACIÓN: EN 14080-ANEXO C ENSAYO DE CORTANTE EN LÍNEA DE COLA: EN 14080-ANEXO D	Se realiza sobre las mismas ensayadas previamente Se realiza sobre las mismas ensayadas previamente	% de delaminación Resistencia al esfuerzo cortante
5	OTROS (ver EN 14080)	Durabilidad frente a ataques biológicos; Resistencia al fuego; Reacción al fuego; Emisión de formaldehído (Anexo A-EN 14080)			

1 En el caso de que el fabricante considere que las láminas de madera usadas para la fabricación de las vigas es mejor que la correspondiente a la calidad visual EF1, se podrán presentar los valores característicos obtenidos de ensayos normalizados de al menos 30 probetas (Normas: EN 408 (6), EN 384 (7), EN 14358 (8)).

2 El resto de propiedades pueden deducirse empíricamente

Tabla D.2.2. Contenidos del informe de resultados del EIT y declaración de propiedades estructurales

PRODUCTO	TIPO DE ENSAYO	NORMA	CONTENIDOS DEL INFORME
1	LÁMINAS DE MADERA	CLASIFICACIÓN VISUAL ¹	UNIT 1261:2018 UNIT 1262:2018 1. Declaración de la calidad visual EF1 ¹ o mejor. 2. En caso de ser mejor, definir nuevas limitantes, siguiendo el modo de presentación de la UNIT 1261 y de la UNIT 1262 (Ver Tabla 3) 3. Firma del responsable de clasificación
2	"FINGER-JOINT" EN LÁMINAS	ENSAYO DE FLEXIÓN O DE TRACCIÓN	EN 408 EN 384 EN 14358 1. Línea de producción 2. Norma utilizada 3. Fecha de fabricación 4. Fecha de ensayo 5. Especie de madera 6. Clase resistente declarada por el fabricante 7. Tratamiento protector, si es el caso 8. Tipo de adhesivo 9. Porcentaje adhesivo y endurecedor, si es el caso 10. Densidad y contenido de humedad 11. Anchura y grosor de lámina 12. Perfil del empalme por unión dentada 13. orientación del empalme por unión dentada 14. carga de rotura en el ensayo 15. resistencia a flexión o a tracción 16. descripción del modo de rotura (% de rotura por madera) 17. Valor medio de la resistencia a flexión ($f_{m,j,medio}$) o a tracción ($f_{t,0,j,medio}$) y coeficiente de variación 18. Valor característico de la resistencia y coeficiente de variación según norma EN 14358 13. Firma del responsable de ensayo
3	MADERA LAMINADA ENCOLADA	ENSAYO DE FLEXIÓN	EN 408 EN 14358 1. Descripción de probeta, especificación y calidad del material 2. Medidas de la probeta, tipo de adhesivo y número de láminas 3. país, región o aserradero de procedencia 4. método de selección de las probetas 5. métodos de ensayo empleados 6. Tª y humedad relativa en el momento de ensayo 7. descripción del dispositivo de carga 8. valores medios y característicos de resistencia y módulos de elasticidad 9. localización y modo de rotura 10. porcentaje de rotura por línea de cola y por madera en plano de encolado en las uniones dentadas 11. tiempo hasta alcanzar la carga

		máxima
PLANOS DE ENCOLADO DE LAS LÁMINAS	ENSAYO DE DELAMINACIÓN: EN 14080- ANEXO C	1. Norma utilizada 2. Fecha de ensayo 3. Identificación de las probetas ensayadas y de las vigas de dónde se extrajeron 4. Definición de las condiciones de acondicionado 5. Tratamiento protector, si es el caso 6. Especie de madera 7. Tipo de adhesivo 8. Porcentaje adhesivo y endurecedor, si es el caso 9. Medidas de la probeta 10. Método de ensayo: A, B o C 11. Delaminación total y delaminación máxima después del número de ciclos indicados en el método aplicado 12. Cualquier otra información relevante 13. Firma del responsable de ensayo
	ENSAYO DE CORTANTE EN LÍNEA DE COLA: EN 14080- ANEXO D	1. Norma utilizada 2. Fecha de ensayo 3. Identificación de las probetas ensayadas y de las vigas de dónde se extrajeron 4. Definición de las condiciones de acondicionado 5. Tratamiento protector, si es el caso 6. Especie de madera 7. Tipo de adhesivo 8. Porcentaje adhesivo y endurecedor, si es el caso 9. Medidas de la probeta 10. Carga de rotura y resistencia a esfuerzo cortante en cada línea de cola de cada probeta ensayada 12. Cualquier otra información relevante 13. Firma del responsable de ensayo

D.2.2. Informe del Control de Producción en Fábrica (CPF)

El Informe de Control de Calidad del fabricante es el resultante de la realización de ensayos durante el proceso de fabricación que asegura que los productos comercializados son conformes con lo declarado en el Informe del Ensayo Inicial Tipo, según indicaciones de la norma EN 14080 (2013).

En el proceso de encolado debe registrarse la siguiente información con el fin de tener una trazabilidad de las condiciones de fabricación de la MLE en cada turno de producción:

1. Línea de producción
2. Fecha y orden de fabricación
3. Especie de madera
4. Clasificación visual de la madera
5. Clase resistente
6. Geometría del elemento

7. CH de las tablas individuales
8. Hora del comienzo de la aplicación del adhesivo
9. Hora del comienzo y del final del proceso de prensado
10. Presión de prensado
11. Tipo de adhesivo y porcentaje de resina y endurecedor (si procede)
12. Cantidad de adhesivo aplicada (g/m²)
13. Tratamiento protector según Norma EN 15228, si las láminas han sido tratadas con producto protector de la madera contra ataques biológicos
14. Temperatura y humedad relativa de las instalaciones de almacenamiento de la madera, de las instalaciones donde se realiza el encolado y las instalaciones donde se aplica y fragua el adhesivo
15. Calibración del xilohigrómetro conforme con la especificación del fabricante del xilohigrómetro
16. Nombre del responsable del personal

Toda la documentación debe registrarse de forma que se mantenga la trazabilidad de las materias primas y las condiciones de fabricación de los productos respecto a la semana y el año de fabricación. La documentación se debe conservar por un mínimo de 10 años.

Respecto a los ensayos de control de calidad se presentará un informe que incluya los resultados de todos los ensayos exigidos, definidos en el Informe 1, con los contenidos mínimos definidos en la Tabla D.2.3.

Tabla D.2.3. Ensayos a realizar en el control de producción en fábrica

PRODUCTO	TIPO DE ENSAYO	NORMA	Nº ENSAYOS	VALIDACIÓN
1 LÁMINAS DE MADERA	CLASIFICACIÓN VISUAL ¹	UNIT 1262:2018	Todas las láminas que conformen la MLE	Cumplir con los límites de la norma
	ENSAYO DE FLEXIÓN	EN 408	2 tablas por turno	$f_{m,k,l} \geq f_{m,k,l,dc}$
2 "FINGER-JOINT" EN LÁMINAS	ENSAYO DE FLEXIÓN O DE TRACCIÓN	EN 408 EN 384 EN 14358	3 láminas por turno	Cumplir con lo exigido en el apartado D.2.3.1.
3 GEOMETRÍA	MEDICIÓN DE SECCIONES	Tabla 12. Norma EN 13080:2013	Todas las láminas que conformen la MLE	Cumplir con las tolerancias dimensionales de la Tabla B.1.1 del ANEXO B
4 PLANOS DE ENCOLADO (se puede aplicar cualquiera de los dos ensayos)	DELAMINACIÓN	ENSAYO DELAMINACIÓN: EN 14080-ANEXO C	1 probeta por cada turno de encolado o por cada 20m ³ de producción	Cumplir con lo exigido en el apartado D.2.3.2.
	CORTANTE EN LÍNEA DE COLA	ENSAYO CORTANTE: EN 14080-ANEXO D		Cumplir con lo exigido en el apartado D.2.3.3.

NOTAS: $f_{m,k,l}$: resistencia a flexión de la lámina; $f_{m,k,l,dc}$: resistencia a flexión de la lámina declarada en el ensayo inicial tipo

Los contenidos del informe de cada ensayo deben ser los mismos que los detallados en el ensayo inicial tipo.

D.2.3. Criterios de conformidad de los ensayos de control de producción en fábrica (EN 14080:2013)

D.2.3.1. Conformidad de los empalmes por unión dentada en el control de producción en fábrica

- 1) Ningún resultado individual deber ser menor al 80% del valor declarado por el fabricante en el EIT.
- 2) Analizando el historial de los últimos 100 ensayos de control de producción en fábrica, no más de 5 probetas deben presentar valores de resistencia a flexión o a tracción mayores a los declarados por el fabricante en el EIT.
- 3) La resistencia característica de los últimos 15 ensayos de control de producción en fábrica debe ser mayor o igual al valor característico declarado por el fabricante en el EIT, según la ecuación:

$$k_{15} f_{j,15,media} \leq f_{j,dc,k}$$

donde

$f_{j,15,media}$, es la resistencia media de al menos los últimos 15 empalmes

k_{15} , es un factor estadístico que se obtiene según la Tabla D.2.4

Tabla D.2.4. Factor k_{15}

COV (calculado según EN 14358)	≤0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
k_{15}	0,82	0,74	0,67	0,61	0,55

D.2.3.2. Valores máximos de porcentaje de delaminación

La Tabla D.2.5 recoge los valores máximos de porcentaje de delaminación en los planos de encolado para cada método de ensayo y número de ciclos.

Tabla D.2.5. Valores máximos del porcentaje total de delaminación (%)

	1 ciclo	2 ciclos	3 ciclos
MÉTODO A	-	5	10
MÉTODO B	4	8	-
MÉTODO C	10	-	-

D.2.3.3. Resistencia de los planos de encolado al esfuerzo cortante

La resistencia al esfuerzo cortante de los valores individuales de cada línea de cola deber ser como mínimo de 6 N/mm², admitiéndose un valor de 4 N/mm² si el porcentaje de rotura por madera es del 100%. El valor medio del porcentaje de rotura por madera de una probeta y todos los valores individuales deben ser mayores al porcentaje mínimo de rotura por madera indicado en la Tabla D.2.6.

Tabla D.2.6. Porcentaje de fallo por madera mínimo en relación con la resistencia a cortante (f_v)

f_v (N/mm ²)	Valores medios			Valores individuales		
	6	8	≥11	(4-6)	6	≥10
Valor mínimo de porcentaje de fallo por madera (%)	90	72	45	100	74	20

*Para los valores medios, el porcentaje mínimo de rotura por madera debe ser: $144 - (9 f_v)$

Para valores de resistencia a cortante $f_v \geq 6$ N/mm², los valores individuales del porcentaje mínimo de fallo por madera en % deben ser: $153,3 - (13,3 f_v)$