

PLIEGO DE CONDICIONES
TÉCNICAS PARA LA MADERA
ESTRUCTURAL EN LA
EDIFICACIÓN EN URUGUAY

2011

DOCUMENTOS TÉCNICOS

INSTITUTO DE ESTRUCTURAS Y TRANSPORTE / FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Pliego de condiciones técnicas para la madera estructural en la edificación en Uruguay

Diciembre 2015

AUTORES

Vanesa Baño Gómez

Instituto de Estructuras y Transporte - Facultad de Ingeniería - Universidad de la República

Laura Moya Silva

Facultad de Arquitectura - Universidad ORT Uruguay

ISBN: 978-9974-0-1331-5

RESUMEN

Este documento, denominado “Pliego de Condiciones Técnicas”, indica los requisitos que deben cumplir la madera y los productos de ingeniería de madera para ser utilizados con fines estructurales en arquitectura e ingeniería civil en Uruguay. El objetivo es proveer a profesionales, técnicos y encargados de seleccionar y comprar materiales de madera estructural, un documento que facilite la prescripción de estos productos. El documento incluye apartados con información sobre: tipo de productos, especies de madera cultivadas en Uruguay, calidad visual, clases resistentes, de uso y de servicio, tratamientos protectores, control de calidad, recepción, almacenaje, etc. Adicionalmente se incluyen varios anexos informativos que complementan el cuerpo del texto principal. En general, las especificaciones mencionadas hacen referencia a normas y reglamentaciones nacionales e internacionales. El Pliego es de carácter orientativo y está sujeto a modificaciones y actualizaciones en función del avance del conocimiento y de los productos disponibles en el mercado.

Palabras clave: Pliego de Condiciones Técnicas, Madera Estructural, Especies cultivadas en Uruguay, Calidad Visual, Clases Resistentes

ÍNDICE

GLOSARIO Y TERMINOLOGÍA.....	4
SÍMBOLOS.....	6
NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA.....	7
1. OBJETO Y ALCANCE DEL PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	9
2. CUESTIONES GENERALES RELATIVAS AL EMPLEO DE PRODUCTOS DE MADERA CON FINES ESTRUCTURALES.....	9
2.1. Clases resistentes, clases de servicio y clases de uso.....	9
2.2. Humedad de equilibrio higroscópico (HEH).....	13
3. MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL.....	14
3.1. Madera aserrada certificada de origen extranjero.....	14
3.2. Madera aserrada de producción nacional.....	16
3.3. Tolerancias dimensionales para la madera aserrada.....	21
4. MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL.....	21
4.1. MLE de origen extranjero.....	21
4.2. MLE de producción nacional.....	22
5. TABLEROS ESTRUCTURALES.....	23
5.1. Tableros contrachapados.....	23
5.2. Tableros OSB.....	26
6. ELEMENTOS DE FIJACIÓN.....	27
6.1. Calidad del acero de la tornillería y herrajes.....	27
7. CONTROL DE CALIDAD PARA LA ACEPTACIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL.....	27
7.1. Exigencias para la aceptación de un lote de madera aserrada.....	27
7.2. Exigencias de recepción de la MLE.....	28
8. TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y CONTROL DE EJECUCIÓN EN OBRA.....	28
ANEXO A. HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO DE LA MADERA.....	30
ANEXO B. REQUISITOS MÍNIMOS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA.....	33
ANEXO C. MARCADO CE.....	38
ANEXO D. MODELO DE INFORME A PRESENTAR POR EL FABRICANTE/PROVEEDOR DE MADERA ESTRUCTURAL.....	40
ANEXO E. EJEMPLOS DE SELLOS DE CERTIFICACION DE PRODUCTOS DE MADERA QUE SE COMERCIALIZAN EN URUGUAY.....	43

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 de durabilidad mayores que la madera de albura.

EPI: Adhesivo estructural Emulsión Polímero Isocianato

Fronosas: 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

NP: Nivel de Penetración del tratamiento protector en la madera

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 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

Valor característico: valor de una propiedad mecánica calculado para el 5° percentil. Es decir, el 95% de las piezas de madera tienen ese valor de propiedad mecánica o mayor.

SÍMBOLOS

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

NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

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.

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

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 351-1 (2007). Durability of wood and wood-based products - Preservative-treated solid wood - Part 1: Classification of preservative penetration and retention. CEN/TC 38. Brussels, Belgium

prEN 384 (2014). 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 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. ECSS/TC 103. Brussels, Belgium

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

IRAM 9660-1 (2006). Madera laminada encolada estructural. Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y control. SubComité Maderas. Argentina

IRAM 9662-2 (2006). Madera laminada encolada. Clasificación mecánica y visual. Parte 2: Madera de eucalipto. SubComité Maderas. Argentina

prEN 338 (2012). Structural timber - Strength classes. CEN/TC 124. Brussels, Belgium

NDS (2005). National Design Specification for Wood construction. Supplement. Design values for Wood construction. American Wood Council, USA

1. OBJETO Y ALCANCE DEL PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

El **Pliego de condiciones técnicas para la madera estructural en la edificación** establece los requisitos fundamentales que deben cumplir los productos de madera para ser utilizados con fines estructurales en arquitectura e ingeniería civil en Uruguay. El Pliego brinda además, información técnica básica que facilita a los técnicos la prescripción, selección y control de la calidad estructural de los elementos de madera.

Este documento será revisado y actualizado en función de los avances de investigación relativos a la caracterización de los productos de madera y de las normativas de cálculo estructural, así como a la disponibilidad de nuevos materiales en el mercado nacional. Dichos cambios serán recogidos en sucesivas ediciones del **Pliego de condiciones técnicas para la madera estructural en construcción** que anularán al presente.

2. CUESTIONES GENERALES RELATIVAS AL EMPLEO DE PRODUCTOS DE MADERA CON FINES ESTRUCTURALES

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. CLASES RESISTENTES, CLASES DE SERVICIO Y CLASES DE USO

2.1.1. Clases resistentes

Los sistemas de clases resistentes para la madera aserrada y para la madera laminada encolada fueron ideados con el fin de agrupar un conjunto de propiedades estructurales comunes (valores característicos de resistencia, rigidez y densidad) entendible a nivel internacional, e independiente de la especie de árbol, de la procedencia y de la norma de clasificación visual o mecánica de la madera.

2.1.1.1. Clases resistentes de madera aserrada

Existen tres grupos de clases resistentes para madera aserrada (prEN 338:2012) 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 prEN 338 (2012) distingue 12 clases resistentes de madera aserrada

de coníferas (C), 14 de madera aserrada de frondosas (D), y 11 de tablas de madera de coníferas (T). *Por ejemplo, una clase resistente C14 se corresponde a un elemento de madera de conífera con una resistencia característica a flexión de 14 N/mm².*

2.1.1.2. Clases resistentes de madera laminada encolada

La madera laminada encolada (MLE) es un producto constituido por un mínimo de dos láminas de madera aserrada con la dirección paralela a la fibra encoladas entre sí por la cara con adhesivos estructurales que, al igual que la madera aserrada, se encuentra agrupada en clases resistentes. Existen dos grupos de clases resistentes para la MLE (EN 14080:2013) 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. 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 (probablemente C16).*

2.1.2. Clases de servicio

Las clases de servicio establecidas en el Eurocódigo 5, parte 1-1 (EN 1995:2004/AC:2006) y descritas en la Tabla 1, fueron definidas para asignar los valores de resistencias y el cálculo de las deformaciones bajo determinadas condiciones ambientales.

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

Clases de servicio	Definición
1	Contenido de humedad en la madera que se corresponde a una temperatura de 20°C y una humedad relativa del aire que sólo supere el 65% durante unas pocas semanas al año. En la mayoría de las coníferas el contenido de humedad de la madera se corresponde con un 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 y una humedad relativa del aire que sólo supere el 85% durante unas pocas semanas al año. El contenido de humedad 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>

2.1.3. Clases de uso

Las clases de uso establecidas en EN 335 (2013) y descritas en la Tabla 2 están en función de las diferentes exposiciones ambientales a las 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.

Para las clases de uso descritas en el apartado anterior, y a efectos orientativos, se presenta en la Tabla 3 los tipos de protección a aplicar en la madera en función de la clase de uso (CTE-DB-SE-M, 2009) y de los niveles de penetración (NP) de los tratamientos protectores, definidos en la norma EN 351-1 (2007).

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>

Tabla 3. Niveles de penetración del tratamiento protector en función de las clases de uso de la madera (CTE-DB-SE-M, 2009)

Clase de uso	Nivel de penetración	Descripción del tratamiento y características del producto protector
1	NP1	Sin exigencias específicas. <u>Se recomienda</u> aplicar un tratamiento superficial con un producto insecticida
2	NP1	<u>Se requiere</u> aplicar un tratamiento superficial con un producto insecticida y fungicida
3.1	NP2	<u>Se requiere</u> aplicar un tratamiento que penetre al menos 3 mm en la albura de todas las caras de la pieza
3.2	NP3	<u>Se requiere</u> aplicar un tratamiento que penetre al menos 6 mm en la albura de todas las caras de la pieza. Las maderas naturalmente no durables deberán ser maderas impregnables
4	NP4	<u>Se requiere</u> aplicar un tratamiento que penetre al menos 25 mm en todas las caras. Sólo para el caso de madera de sección circular (rolos)
	NP5	<u>Se requiere</u> penetración total en albura. Todas las caras tratadas
5	NP6	<u>Se requiere</u> penetración total en albura y al menos 6 mm en la madera de duramen. Las maderas naturalmente no durables deberán ser impregnables

2.2. HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO (HEH)

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 tensiones internas de consideración. En el **ANEXO A** se presenta un gráfico con las curvas de equilibrio higroscópico de la madera en función de la temperatura y humedad relativa del aire y una Tabla con porcentajes de HEH de la madera para pares de valores de temperatura ambiente y humedad relativa del aire (CTE-DB-SE-M, 2009).

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%

La 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) se presentan para las cuatro estaciones en la Tabla 5 (de Castro, 2010).

A la hora de comprar la madera para la ejecución de la obra se exigirá que ésta 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.

Tabla 5. 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 %

3. 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 un sello de certificación estampado en cada pieza de madera.

En Uruguay no existe madera aserrada de producción nacional que cuente con certificación de calidad estructural. Sin embargo, actualmente es posible encontrar madera aserrada certificada de origen extranjero.

3.1. MADERA ASERRADA CERTIFICADA DE ORIGEN EXTRANJERO

La madera aserrada certificada que se encuentra actualmente en el mercado uruguayo es importada desde Estados Unidos y proviene de las denominadas especies de “pino del sur” (*P. echinata*, *P. elliottii*, *P. palustris* y *P. taeda*). La madera cuenta con sello de certificación que acredita que la clasificación estructural fue realizada de acuerdo a las reglas de la agencia Southern Pine International Bureau (SPIB). La principal ventaja de esta madera con respecto a la de producción local, es que se trata de madera “calibrada” y con especificaciones técnicas conocidas: propiedades estructurales, contenido de humedad, tipo y proceso de preservación, si fuera el caso. En el **ANEXO E** se reproduce el sello de certificación de la madera aserrada importada disponible en el país, así como los enlaces a las propiedades mecánicas para el cálculo estructural.

La Tabla 6a indica las propiedades de referencia para el diseño según el método de las tensiones admisibles, de la madera de pino impregnado grado N°1, importada de EEUU y clasificada según las reglas del SPIB actualmente disponible en Uruguay.

Tabla 6a. 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, 2005)

Propiedad		2 x 4 ¹ (38 x 89 mm)	2 x 6 ¹ (38 x 140 mm)	3 x 6 ¹ (76 x 140 mm)	3 x 8 ¹ (76 x 185 mm)
Propiedades resistentes					
Flexión	F_b (N/mm ²)	9,9	8,9	8,9	8,3
Tracción paralela a la fibra	$F_{t,o}$ (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	$F_{c,o}$ (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 6b presenta valores característicos de resistencias estimados a partir de los establecidos en la Tabla 6, y de acuerdo a la ecuación 1:

$$F_k = F_{adm} \times n \quad (1)$$

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 6b. Valores característicos de resistencias y valores medios de rigidez para madera aserrada grado N°1 de pino del sur (mixed southern pine) (Estimados de acuerdo a ASTM D 1990-07, 2011)

Propiedad		2 x 4 ¹ (38 x 89 mm)	2 x 6 ¹ (38 x 140 mm)	3 x 6 ¹ (76 x 140 mm)	3 x 8 ¹ (76 x 185 mm)
Propiedades resistentes					
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)

3.2. MADERA ASERRADA DE PRODUCCIÓN NACIONAL

3.2.1. Madera aserrada de pino (*Pinus elliottii* y *Pinus taeda*)

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.

3.2.1.1. 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 "EC7", que a falta de una norma UNIT fueron establecidos en la propuesta de clasificación visual estructural para madera de pinos uruguayos del año 2015, y que son descritos en la Tabla 7.

Para verificar la calidad estructural de la madera, el Director de Obra realizará una inspección de piezas seleccionadas en forma aleatoria del lote de madera a utilizar previo a su colocación en obra.

Tabla 7. Especificaciones para la clasificación visual de piezas de sección rectangular de *P.elliottii/taeda* de procedencia uruguaya

CRITERIOS DE CALIDAD	CALIDAD VISUAL EC7
Diámetro de los nudos (d) sobre la cara (h)	$d \leq 2/5 h$
Diámetro de los nudos (d) sobre el canto (b)	$d \leq 2/5 b$
Presencia de médula	Permitida
Dirección de las fibras	Desviación menor que 1:6
Fendas de secado pasantes / Rajaduras	$\leq 1,0 m \text{ ó } \leq (1/4)l$
Fendas de secado no pasantes / Grietas	$\leq 1,5 m \text{ ó } \leq (1/2)l$
Fendas/Fisuras de rayo, heladura o abatimiento	No permitidas
Bolsas de resina y entrecasco	$\leq 2 h$
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	$\leq 12 \text{ mm}$
- Curvatura de canto o encorvadura	$\leq 9 \text{ mm}$
- Alabeo o torcedura	$\leq 1,5 \text{ mm}$
- Abarquillado o acanaladura	-
- Arista faltante	$\leq 1/5 h$

3.2.1.2. Clase resistente de la madera de pino

La madera de pino nacional (*P. elliottii/taeda*) clasificada visualmente como EC7 según los criterios de calidad presentados en la Tabla 7 se correlaciona con la clase resistente C14 de la norma europea EN 338 (2012). Los valores característicos y medios a utilizar en el cálculo estructural para la clase C14 se indican en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores característicos y medios de resistencias, rigideces y densidad de la clase resistente C14 (prEN 338:2012)

CLASE RESISTENTE C14		
Propiedades resistentes (N/mm ²)	$f_{m,k}$	14,0
	$f_{ft,0,k}$	8,0
	$f_{ft,90,k}$	0,4
	$f_{c,0,k}$	16,0
	$f_{c,90,k}$	2,0
	$f_{v,k}$	3,0
Propiedades de rigidez (kN/mm ²)	$E_{m,0,medio}$	7,0
	$E_{m,0,k}$	4,7
	$E_{t,0,medio}$	6,5
	$E_{m,90,medio}$	0,23
	G_{medio}	0,44
Densidad (Kg/m ³)	ρ_k	290
	ρ_{medio}	350

$f_{m,k}$: flexión; $f_{ft,0,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{ft,90,k}$: 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; $E_{t,90,medio}$: módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra en tracción; G_{medio} : módulo medio de cortante; ρ_k : densidad característica y ρ_{medio} : densidad media.

3.2.1.3. Tratamiento protector de la madera de pino

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.

Además de la protección por diseño, se exigirá que todos los elementos utilizados en clase de uso 1 o 2 (ver Apartado 2.1.3), 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.

Además de la protección definida anteriormente, se exigirá que todos los elementos estructurales utilizados en la construcción de edificación en Uruguay para las clases de uso 3 y 4 (ver Apartado 2.1.3) estén protegidos en profundidad.

A fecha actual, se permite el uso de CCA, con los niveles de retención detallados en la Tabla 9 (Dieste, 2014) y una profundidad de penetración de la totalidad de la sección del elemento de madera, por tratarse de madera de albura.

Tabla 9. Niveles de retención definidos por las empresas impregnadoras de Uruguay para la madera de pino nacional (basado en Dieste, 2014)

Uso	Retención (Kg/m ³)
Clases de uso 3.1 y 3.2	9,6
Clase de uso 4	12,8
Clase de uso 5	40

Gradualmente se irá restringiendo el uso del tratamiento en profundidad con CCA, y los elementos de madera estructural en la edificación deberán estar protegidos por alguno de los siguientes tratamientos protectores u otros con la debida certificación:

- Impregnación de la madera con sales libres de Cromo y de Arsénico. Ejemplo de algunos productos aplicables: azoles de cobre CA-B y CA-C, ACQ, CX8, CX10, etc.
- Tratamiento térmico de la madera que asegure su utilización para una clase de uso 4 (Apartado 2.1.3.) y que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas para el cálculo estructural.
- Madera modificada químicamente que asegure su utilización para una clase de uso 4 (apdo. 3.1.3.1.) y que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas para el cálculo estructural. Ejemplos: acetilación, furfurilación, etc.

En el caso de detectarse presencia de termitas en la zona de edificación, y siempre que el Director de Obra lo estime oportuno, se exigirá tratamiento protector en profundidad u otros tratamientos (como los descritos en los apartados a, b y c) de todos los elementos constructivos y para todas las clases de uso.

3.2.2. Madera aserrada de eucalipto (*Eucalyptus grandis*)

3.2.2.1. Calidad visual de la madera de eucalipto

A falta de normativa UNIT de clasificación visual se exigirá que toda la madera aserrada de eucalipto (*E. grandis*) que se utilice en obra deberá estar clasificada visualmente de acuerdo a la norma argentina IRAM 9662-2 (2006) cuyos criterios para dos calidades visuales son descritos en la Tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones para la clasificación visual de piezas de sección rectangular de *Eucalyptus grandis* según la norma argentina IRAM 9662-2 (2006)

Criterios de calidad		Clase visual E12
Médula		No se admite
Nudos		Menor o igual a 2/3
Dirección de las fibras		Desviación menor que 1:9
Densidad		No se aceptan piezas con densidad excepcionalmente baja
Fisuras	No pasantes	El largo de las fisuras no pasantes no debe ser mayor que 1,0 m ni que 1/4 de la longitud de la pieza.
	Pasantes	Sólo se permiten las fisuras pasantes en los extremos y su largo no debe ser mayor que el ancho de la tabla.
Arqueadura y encorvadura		Menor que 8
Torcedura		Menor que 1 mm por cada 25 mm de ancho.
Acanaladura		Sin restricciones
Arista faltante		Transversalmente menor que 1/4 de la cara o canto donde aparece. Sin restricciones para el largo
Ataques biológicos		No se admiten zonas atacadas por hongos causantes de pudrición. Se admiten zonas atacadas por hongos cromógenos. Se admiten orificios causados por insectos con diámetro inferior a 2 mm
Otros		Daños mecánicos, depósitos de resina y otros defectos se limitan por analogía con alguna característica similar

Para verificar la calidad estructural de la madera, el Director de Obra realizará una inspección de piezas seleccionadas en forma aleatoria del lote de madera a utilizar previo a su colocación en obra.

3.2.2.2. Clase resistente de la madera de eucalipto

La norma argentina IRAM 9662-2 (2006) asigna la calidad visual “E12” a la “Clase 2”, definida según su sistema de clasificación estructural en base a valores característicos de las propiedades físicas y mecánicas. La Clase 2 no encuentra correspondencia con ninguna de las clases resistentes de la norma europea ya que el valor de la densidad característica de dicha clase no alcanza al valor mínimo exigido en la EN 338 (2012).

Por esta razón, para el cálculo estructural con madera aserrada de *Eucalyptus grandis* nacional se sugiere utilizar los valores característicos y medios correspondientes a la Clase 2 de la norma argentina IRAM 9662-2 (2006), y que son presentados en la Tabla 11. Los valores característicos no disponibles en la normativa argentina fueron derivados a partir de las ecuaciones de la norma EN 384 (2010).

Tabla 11. Valores característicos y medios de las resistencias, rigideces y densidad de madera de *E. grandis* clasificada visualmente como E12

PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LA MADERA DE <i>E. grandis</i> E12		
Propiedades resistentes	$f_{m,k}$	24
	$f_{t,0,k}$	14
	$f_{t,90,k}$	0,6

(N/mm²)	$f_{c,0,k}$	21
	$f_{c,90,k}$	5,3
	$f_{v,k}$	2,5
	$E_{m,0,medio}$	12,5
	$E_{m,0,k}$	10,5
Propiedades de rigidez (kN/mm²)	$E_{m,90,medio}$	0,83
	G_{medio}	0,78
	ρ_k	430
Densidad (Kg/m³)	ρ_{medio}	516

$f_{m,k}$: 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; $E_{t,90,medio}$: módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra en tracción; G_{medio} : módulo medio de cortante; ρ_k : densidad característica y ρ_{medio} : densidad media.

3.2.2.3. Tratamiento protector de la madera de eucalipto

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.

Además de la protección por diseño, se exigirá que todos los elementos utilizados en clase de uso 1 o 2 (ver Apartado 2.1.3) 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.

No se admite en ningún caso la impregnación en profundidad en autoclave con sales como tratamiento protector, al considerarse la madera de duramen de E. grandis como "no impregnable".

En caso de emplearse elementos de madera de eucalipto en clases de uso 3 o 4 (ver Apartado 2.1.3), éstos deberán protegerse mediante algún tratamiento protector que no implique la impregnación de la madera y que cuente con la debida certificación de calidad. A continuación se detallan algunos de los posibles tratamientos: indicados a continuación

- a) Tratamiento térmico de la madera que asegure su utilización para una clase de uso 4 y que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas para el cálculo estructural.
- b) Madera modificada químicamente que asegure su utilización para la clase de uso 4, por ejemplo acetilización, furfuralización, etc., y que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas para el cálculo estructural.

En el caso de detectarse presencia de termitas en la zona de edificación, y siempre que el Director de Obra lo estime oportuno, se exigirá alguno de los tratamientos definidos en a) y b) para todos los elementos constructivos y para todas las clases de uso.

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 12 indica las tolerancias dimensionales 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 o van revestidos, de modo que las exigencias sean más estrictas en este último caso para asegurar una correcta terminación del cerramiento.

Tabla 12. Tolerancias dimensionales para la madera aserrada estructural

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	Dimensiones b y h (mm)	Tolerancia (mm)
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)
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 la anchura y la altura del elemento estructural respectivamente

4. MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL

La madera laminada encolada puede definirse como un material constituido por un mínimo de dos láminas de madera dispuestas en dirección paralela a la fibra encoladas entre sí por la cara con adhesivos. Puede ser: 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 cuyos espesores varían entre 6 y 45 mm, dispuestas con la dirección paralela a la fibra, encoladas entre sí por la cara con adhesivos estructurales. Cada una de las láminas puede estar unida en las testas mediante uniones dentadas o "finger-joint" para conseguir la longitud deseada. El proceso y los requisitos de fabricación de la MLE se encuentran detallados en normas internacionales, y cuya consecución garantiza la aptitud estructural de los productos.

Actualmente en Uruguay no se produce ni comercializa MLE estructural: sus especificaciones técnicas (propiedades físicas y mecánicas) no están disponibles, y los productos estructurales de MLE que se comercializan no cumplen con los requisitos mínimos de fabricación establecidos en las normas.

A la hora de querer construir con MLE en Uruguay se plantean dos opciones: a) importar MLE certificada estructuralmente, o b) encargar a empresas radicadas en el país productos de MLE fabricada de acuerdo a los requisitos mínimos que se detallan en el ANEXO B del presente Pliego.

4.1. MLE DE ORIGEN EXTRANJERO

Toda la MLE importada que se utilice con fines estructurales deberá contar con un certificado emitido por un Centro de certificación homologado que será exigido por el Director de Obra y que deberá indicar

al menos la clase resistente y el contenido de humedad de la MLE. En su defecto, se aceptará un documento que contenga la información básica sobre el producto; esto es, los valores característicos de sus propiedades físicas (densidad) y mecánicas (fundamentalmente las propiedades de flexión y módulo de elasticidad), el tipo de adhesivo estructural utilizado, la especie de madera, el contenido de humedad de la pieza, y la referencia a las normas utilizadas, tanto para la clasificación de la madera aserrada que compone la pieza como la de fabricación de la MLE. *A modo de ejemplo, si la madera fuese importada de Europa, se exigiría el denominado “marcado CE” (ver ANEXO C).*

4.2. MLE DE PRODUCCIÓN NACIONAL

Los siguientes dos apartados se presentan a efectos de orientar al técnico, al momento de especificar los requisitos que deberá cumplir la MLE nacional a fabricar. Brinda información para estimar las clases resistentes a las cuales se podría asignar la MLE de potencial fabricación en Uruguay a partir de las propiedades de la madera que la compone, y a partir del cumplimiento con los requisitos de fabricación del **ANEXO B**.

4.2.1. Clase resistente de la MLE de pino nacional a fabricar en Uruguay

Mientras no exista MLE estructural de producción nacional y tampoco normativa UNIT para la misma, la derivación de propiedades y asignación a clases resistentes deberá estimarse de acuerdo a normas extranjeras. Para la MLE de pino se recomienda seguir los procedimientos establecidos en la norma europea EN 14080 (2013) que define, entre otros, la clase resistente inferior del rango, GL20h, para MLE homogénea obtenida a partir de láminas de madera aserrada clasificadas como C16.

Dado que la madera aserrada estructural de pino nacional puede ser asignada a la clase C14, y al no contar con datos sobre las propiedades mecánicas de MLE de pino nacional, se recomienda que los componentes de MLE de pino uruguayo sean calculados como si se tratase de componentes de madera aserrada; es decir, utilizando los valores característicos de propiedades físico-mecánicas de la madera C14 (Tabla 8), siempre y cuando la MLE cumpla con los requisitos de fabricación especificados en el ANEXO B del presente Pliego.

4.2.2. Clase resistente de la MLE de eucalipto nacional a fabricar en Uruguay

Para la MLE de eucalipto (*E. grandis*), la norma argentina IRAM 9660-1 (2006) fabricada con tablas de madera aserrada asignadas a la Clase de resistencia 2 presenta valores de propiedades de flexión inferior al de la madera que la compone. Esto contradice la premisa generalmente aceptada de que los valores de las propiedades mecánicas y elásticas de la MLE deben ser iguales o mayores que los valores de la madera aserrada que la compone.

Al igual que en el caso descrito en el Apartado anterior, y a falta de resultados experimentales de MLE de E. grandis producida en Uruguay, se recomienda que los componentes de MLE de esta especie sean calculados con los valores característicos de la madera aserrada de E. grandis (Tabla 11), siempre y cuando la MLE cumpla con los requisitos de fabricación especificados en el ANEXO B del presente Pliego.

4.2.3. Tipo de adhesivo en función de la clase de servicio

La Tabla 13 indica los tipos de adhesivos estructurales permitidos según la norma EN 14080:2013 y su posible aplicación para las distintas clases de servicio.

Tabla 13. 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

En el caso de utilizar madera de *E. grandis* en clase de servicio 3, previo tratamiento con alguno de los definidos en el Apartado 3.2.2.3., y a falta de estudios de esta situación, se recomienda el uso de adhesivo Resorcinol.

5. TABLEROS ESTRUCTURALES

5.1. Tableros 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. ellioti/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. En la actualidad existe en el país una sola empresa productora de tableros que 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 (2005), 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. En el **ANEXO E** se reproduce el sello de la agencia TECO para uno de los tipos de tablero que se produce y comercializa en Uruguay, las recomendaciones de instalación.

La producción de tableros contrachapados en Uruguay incluye una amplia variedad de calidades, categorizadas por dos letras, donde cada letra del par refiere a la calidad de las chapas exteriores del tablero (ej, BC, CC, CD, etc).

5.1.1. Propiedades estructurales de tableros contrachapados de eucalipto uruguayo

Las propiedades mecánicas y densidad de los tableros contrachapados estructurales de *Eucalyptus grandis* se presentan en la Tabla 14.

A efectos prácticos, la Tabla 15 simplifica 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 (Weyerhaeuser, 2015).

Tabla 14. Propiedades mecánicas y densidad de tableros contrachapados de eucalipto (Adaptado de: http://www.weyerhaeuser.com/files/7214/3510/9162/TGLuminEUCAFACEDPlywood_ENGLISH_2015-01-23.pdf)

Propiedades estructurales		Desempeño según espesor		
		12 mm	15 mm	18 mm
				EEEEEE
Panel Layup ¹		EEE	EEEE	EEEE
		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

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

Tabla 15. Propiedades de desempeño de tableros contrachapados de eucalipto (adaptado de: http://www.weyerhaeuser.com/files/7214/3510/9162/TGLuminEUCAFACEDPlywood_ENGLISH_2015-01-23.pdf)

Propiedades fundamentales		Desempeño según espesor		
		12 mm	15 mm	18 mm
				EEEEEE
Panel Layup ¹		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

5.1.2. Propiedades estructurales de tableros contrachapados de pino uruguayo

Las propiedades mecánicas y densidad de los tableros contrachapados estructurales de pino uruguayo se presentan en la Tabla 16.

A efectos prácticos, la Tabla 17 simplifica 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 (Weyerhaeuser, 2015).

Tabla 16. Propiedades mecánicas y densidad de tableros contrachapados de pino (adaptado de: http://www.weyerhaeuser.com/files/7114/3510/8699/TGLuminPINEFACEDPlywood_ENGLISH_2015-01-23.pdf)

Propiedades estructurales		Desempeño según espesor		
		12 mm	15 mm	18 mm
Panel Layup ¹		PPPP	PPPPP	PPPPP
		PEEP	PEPEP	PPEPP
			PEEEP	PEPEP
				PEEEP
Resistencia característica^{2,3} (N/mm²)				
Flexión paralela a la fibra	$f_{m,0,k}$	15.0	15.0	15.0
Flexión perpendicular a la fibra	$f_{m,90,k}$	10.0	10.0	10.0
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	ND	ND	ND
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	ND	ND	ND
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	$E_{m,0}$	2500	2500	2500
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	410	410	410
Densidad media ⁵	ρ_{mean}	450	450	450

¹ P=Pino; E=Eucalipto

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

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

Tabla 17. Propiedades de desempeño de tableros contrachapados de pino (Adaptado de: http://www.weyerhaeuser.com/files/7114/3510/8699/TGLuminPINEFACEDPlywood_ENGLISH_2015-01-23.pdf)

Propiedades fundamentales		Desempeño según espesor		
		12 mm	15 mm	18 mm
Panel Layup ¹		PPPP	PPPPP	PPPPP
		PEEP	PEPEP	PPEPP
			PEEEP	PEPEP
				PEEEP
Techos- Categoría de uso H- separación máxima entre apoyos:		610mm	815mm	1220mm
Carga puntual característica	(kN) $F_{max,k}$	2.59	3.36	4.58
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		II	II	II
Pisos- Categoría de uso A- separación máxima entre apoyos:				500mm
Carga puntual característica	(kN) $F_{max,k}$	NPD*	NPD*	4.32
Rigidez media	(kN) R_{mean}	NPD*	NPD*	328
Carga puntual de servicio	(kN) $F_{ser,k}$	NPD*	NPD*	3.08
Clase de resistencia de impacto de cuerpo blando		NPD*	NPD*	I

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

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

5.2. TABLEROS 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. 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. En el **ANEXO E** se reproduce el sello de APA para tableros OSB destinados a ser empleados como forro de paredes o pisos (*sheathing*), y para ser usados como diafragmas. Se incluye también recomendaciones para su instalación así como referencias a guías de instalación e información adicional.

5.2.1. Propiedades físicas y mecánicas de los tableros OSB

A modo de ejemplo la Tabla 18 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 18. 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	Resistencia característica (N/mm ²)	Espesor nominal	
		t ≤ 10 mm	10 < t < 18 mm
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

6. ELEMENTOS DE FIJACIÓN

6.1. CALIDAD DEL ACERO DE LA TORNILLERÍA Y HERRAJES

El acero a emplear en 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 tratamiento protector mínimo exigido en los herrajes, clavos y tornillería será el galvanizado en caliente para edificaciones lejos de la costa y acero inoxidable AISI 316 para las edificaciones ubicadas en la línea costera o en ambientes agresivos.

7. CONTROL DE CALIDAD PARA LA ACEPTACIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL

7.1. EXIGENCIAS PARA LA ACEPTACIÓN DE UN LOTE DE MADERA ASERRADA

En el caso de madera importada, se exigirá que cada pieza de madera presente estampado en alguna de sus caras o cantos el sello de certificación de calidad estructural emitido por un organismo certificador de reconocida trayectoria a nivel internacional. El sello deberá incluir, entre otros, la clase resistente o grado estructural, la normativa de clasificación utilizada, el contenido de humedad, y tratamiento protector, si procede. En el ANEXO E se incluye un ejemplo de sello de certificación de madera.

En el caso de madera producida y comercializada en Uruguay, a falta de sello de calidad estructural emitido por un organismo certificador de reconocida trayectoria y homologado en el país, se exigirá al Proveedor un certificado con información sobre el lote de madera suministrado. Esto es: i) el contenido de humedad de la madera, ii) calibrado de la misma, iii) calidad visual, y iv) valores característicos de

resistencias, rigidez y densidad, para un mínimo de 40 resultados válidos, obtenidos en ensayos experimentales realizados de acuerdo a las normas europeas EN 408 (2010), EN 384 (2010) y prEN 338 (2012). Este certificado deberá estar actualizado a un máximo de los 12 meses anteriores a la compra. En **ANEXO D** se incluye un modelo del informe que el suministrador debe presentar.

Si el Director de Obra desearan comprobar la veracidad de la información contenida en el certificado, se procederá a realizar un control de calidad del lote de madera mediante la clasificación visual del 30% de las piezas de madera de cada lote, seleccionadas de forma aleatoria, y de acuerdo a los requisitos de calidad visual definidos en las Tablas 7 y 10 del presente Pliego.

7.1.1. Control de calidad del tratamiento protector

El proveedor deberá entregar un certificado que acredite el nivel de penetración y el nivel de retención del tratamiento protector.

En caso de que la empresa no cuente con el certificado de calidad del tratamiento protector, o en el caso de que el Director de Obra deseara comprobar la veracidad de la documentación, se solicitará a un laboratorio especializado que realice las mediciones pertinentes por métodos gravimétricos o analíticos.

7.2. EXIGENCIAS DE RECEPCIÓN DE LA MLE

A la hora de la compra de elementos estructurales de madera laminada encolada se debe exigir al fabricante o al suministrador los datos de los resultados obtenidos tanto en el *Ensayo Inicial Tipo*, normalmente certificado o sellado por una entidad externa de control (centro tecnológico, laboratorio de ensayos o universidad) como un informe del fabricante del *Control de Calidad* realizado al lote de madera que se está comprando.

En el **ANEXO D** se recoge el contenido del informe del Ensayo inicial tipo y del informe sobre el Control de calidad en fábrica.

8. 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. Esto es:

- no cambiar las condiciones ambientales a las que debería estar sometida la estructura
- asegurarse de que la humedad de las piezas de madera sea lo más próxima posible a la humedad esperada de la obra finalizada
- no modificar secciones de las piezas de madera que no estén contempladas en el proyecto ni realizar mecanizados de las piezas sin la aprobación del proyectista
- en caso de realizar cortes en la madera, asegurarse que la protección en estos puntos sea igual a la madera antes de mecanizar; en caso de que cambie el nivel de protección, aplicar tratamiento protector localmente
- evitar que, durante el montaje, los elementos de madera se vean sometidos a cargas mayores a las previstas durante la vida útil de la estructura
- asegurarse de que las condiciones de arriostramiento y estabilidad global final de la edificación se mantengan durante el proceso de montaje; para ello puede ser necesario la fijación temporal de los elementos de madera a puntos fijos
- evitar el contacto directo de la madera con el terreno o con otros materiales, asegurándose de separarla un mínimo de 20 cm y colocar barreras antihumedad
- proteger los elementos de madera expuestos directamente a la intemperie
- evitar la posibilidad de acumulación de agua en las uniones o encuentros de madera con otros materiales
- evitar que los elementos de unión impidan los posibles cambios dimensionales de la madera (hinchazón y merma)
- cuidar las uniones de modo que no cambien su comportamiento al realizar mecanizados o taladros para la colocación de tornillería
- ajustarse a los diámetros de los clavos, tornillería y pernos contemplados en el proyecto de ejecución, así como mantener las distancias entre ellos y las distancias a los bordes de los elementos de madera contemplados en proyecto

ANEXO A.

HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO DE LA MADERA

Se presentan a continuación datos sobre la humedad de equilibrio higroscópico de la madera para diferentes contenidos de humedad y temperatura ambiental.

A.1. Curvas de humedad de equilibrio higroscópico de la madera

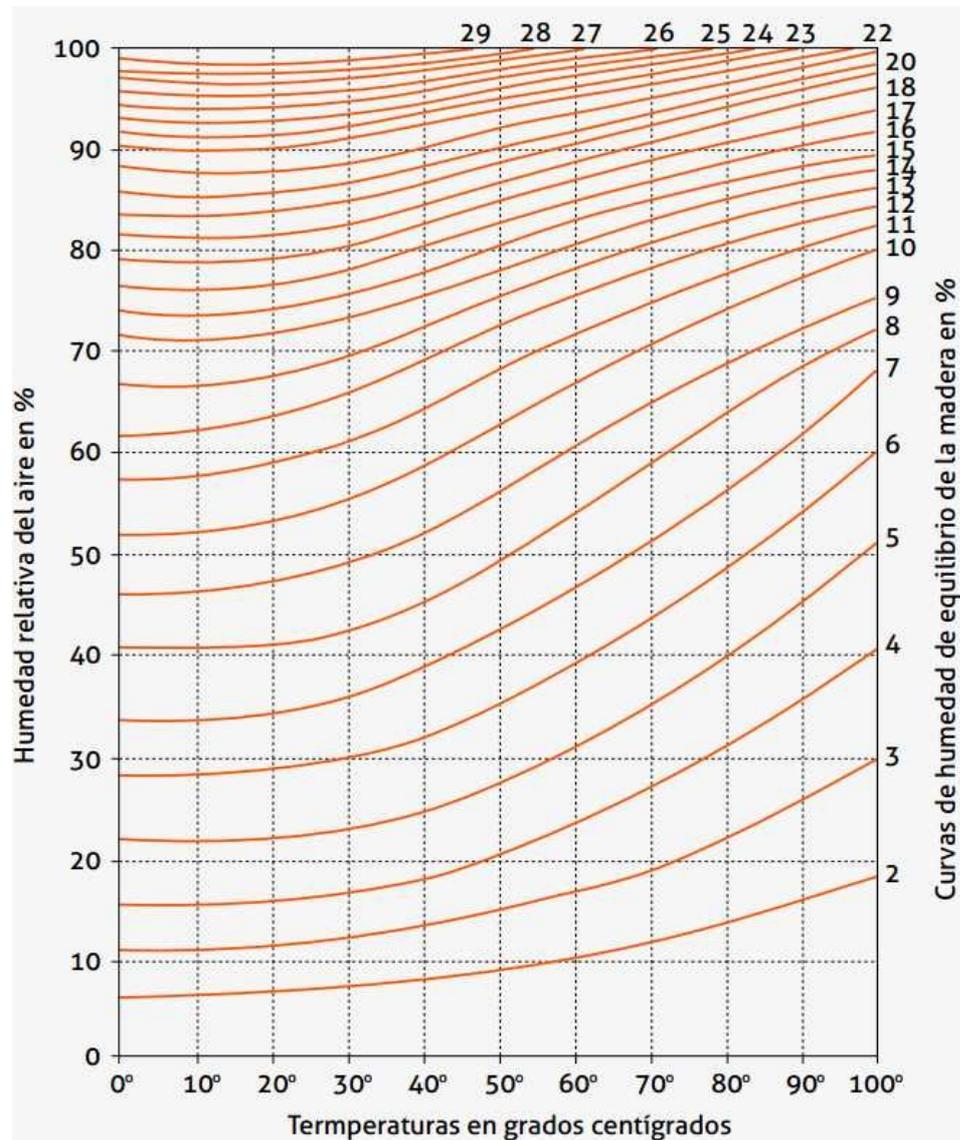


Figura A.1. Curvas de humedad de equilibrio higroscópico de la madera

(Extraído de: <http://blog.expertosenparquet.com/2013/06/el-pavimento-de-madera-y-la-humedad.html>)

A.2. HEH estimado de la madera al exterior protegida de la intemperie para pares de valores de temperatura ambiente y humedad relativa del aire

Tabla A2.1. HEH estimado para pares de valores de temperatura ambiente y humedad relativa del aire (CTE-DB-SE-M, 2009)

T° ambiente (°C)	HR aire (%)	HEH madera (%)
2	81	16,7
2	82	17,2
3	80	16,2
3	84	18,2
3	85	18,7
3	89	20,7
4	80	16,2
4	82	17,2
4	83	17,7
4	84	18,2
4	87	19,7
5	73	14,1
5	79	15,9
5	82	17,2
5	87	19,7
6	83	17,7
19	69	12,7
6	78	15,6
6	79	15,9
6	80	16,2
6	85	18,7
6	87	19,7
7	75	14,1

T° ambiente (°C)	HR aire (%)	HEH madera (%)
7	76	15,0
7	78	15,6
7	84	18,2
8	75	14,7
8	77	15,3
9	75	14,1
9	80	16,2
9	81	16,7
10	66	12,4
10	78	15,6
10	83	17,7
11	59	10,9
11	70	13,3
11	80	16,2
12	68	12,8
12	70	13,3
12	74	14,4
12	76	15,0
13	82	17,2
16	76	15,0
17	72	13,8
17	81	16,7
18	67	12,3

T° ambiente (°C)	HR aire (%)	HEH madera (%)
18	72	13,6
18	74	14,2
19	59	10,6
19	65	11,9
19	71	13,3
19	74	14,2
19	82	16,9
20	40	7,7
20	42	8,0
20	52	9,5
20	53	9,7
20	59	10,6
20	69	12,8
21	52	9,5
21	59	10,6
21	69	12,8
22	45	8,4
22	48	8,9
22	60	10,8
22	64	11,5
22	69	12,8
22	74	14,1
23	51	9,4

T° ambiente (°C)	HR aire (%)	HEH madera (%)
23	80	16,0
24	42	7,8
24	44	8,1
24	47	8,5
24	50	9,0
24	55	9,8
24	62	11,0
24	67	12,1
25	39	7,4
25	49	8,8
25	53	9,5
25	65	11,6
25	72	13,4
26	63	11,2
25	66	11,9
26	33	6,5
26	37	7,1
26	40	7,5
26	52	9,3
26	56	9,9
26	61	10,8
28	41	7,7
28	49	8,9

ANEXO B

REQUISITOS MÍNIMOS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Los requisitos de fabricación de la madera laminada encolada en Uruguay se basan en los exigidos por la norma europea EN 14080 (2013) y se definen a continuación.

B.1. TOLERANCIAS DIMENSIONALES

La Tabla B1.1 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 B1.1. Desviaciones máximas en las medidas de la MLE

Medidas nominales para		Desviaciones máximas	
		Elementos rectos	Elementos curvos
Anchura 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 en base a las especificaciones de las Tablas 7 y 10 del presente Pliego, para la madera de *Pinus elliottii/taeda* y *Eucalyptus grandis* respectivamente.

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 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 B4.1. 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 B4.1.

Tabla B4.1. 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

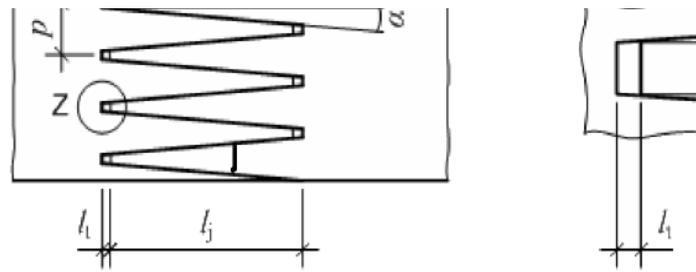
B.5. EMPALMES ENTRE LÁMINAS POR UNIÓN DENTADA (*FINGER-JOINT*)

Las tablas de madera aserrada se cortarán en bloques de longitud mínima 300 mm y máxima de 1200 mm, eliminando las zonas defectuosas o las singularidades que superen los límites definidos en las especificaciones de clasificación visual estructural para cada especie.

La unión entre las diferentes tablas se realizará mediante una unión dentada de las testas o *finger-joint*. La Figura 1 muestra la geometría de dicha unión y la Tabla B5.1 los valores mínimos recomendados de dicha geometría.

La zona de unión dentada debe de estar libre de singularidades o defectos de la madera y la distancia longitudinal mínima entre la presencia de un nudo y el *finger-joint* debe ser de tres veces el diámetro del nudo (3d).

Dichas 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 es necesario realizar la mezcla de adhesivo y endurecedor previamente; o con máquina, normalmente aplicando adhesivo y endurecedor por separado.



- eyenda
- Longitud del diente
 - Paso
 - Ángulo del dentado
 - Holgura en la junta

Figura 1. Empalmes *finger-joint* entre las tablas para configurar las láminas (EN 14080, 2013)

Tabla B5.1. Geometría mínima para el dentado

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

La Tabla B5.2 recoge las exigencias del proceso de fabricación de la unión dentada o “finger joint”.

Tabla B5.2. 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 ^o de la madera en la línea de cola durante el curado (°C)
6	10	1	18

B.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 B6.1.

Tabla B6.1. 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 1.

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

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/mm^2).

B.7. TOLERANCIAS DE GROSOR MEDIO DE LAS LÁMINAS

La Tabla B7.1 muestra las tolerancias de grosor medio de las láminas que configuran las vigas de MLE en función del tipo de adhesivo utilizado.

Tabla B7.1. 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 la anchura (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

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.

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.

B.9. PRENSADO Y FRAGUADO

La presión debe mantenerse constante durante el prensado.

Los valores de presión se prensado se indican en la Tabla B9.1.

Tabla B9.1. 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 B11.1 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 B11.1. Temperatura y humedad relativa ambiental de las instalaciones

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

ANEXO C

MARCADO CE

El marcado 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 marcado exige una serie de ensayos y controles de calidad, tanto por parte del fabricante como por parte del organismo certificador.

C.1. MADERA ASERRADA

La Figura C1.1 muestra un ejemplo de marcado CE para una pieza de madera aserrada estructural.

a)	b)
	
Compañía 0001 Ciudad 10 1280-CPD-000	Compañía 0001 Ciudad 10 1280-CPD-000
EN 14081-1 Madera aserrada estructural Clase resistente: C24 Calidad visual: T2 Clasificación en seco Código de especie: PCAB Norma clasificación visual: INSTA142 Clase de durabilidad natural: 4	EN 14081-1:2005+A1:2011 Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales
	Reacción al fuego: D-s2,d0
	País que clasifica visualmente: Países nórdicos INSTA 142 Nordic visual strength grading rules for timber.
	Especie: <i>Picea abies</i>

Figura C1.1. Marcado CE en: a) las piezas de madera aserrada; b) documentación a entregar por el suministrador junto a las piezas vendidas

C.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA

La Figura C2.1 muestra un ejemplo de marcado CE para una pieza de madera laminada encolada estructural.

a)	b)
Compañía 0001 Ciudad	Compañía 0001 Ciudad
10	10
1280-CPD-000	1280-CPD-000
EN 14080:2013 Madera laminada encolada	EN 14080:2013 Madera laminada encolada para utilización en edificios y puentes
Clase resistente: GL 24 h Tipo de adhesivo: PUR-Tipo I	Resistencia mecánica y al fuego: 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 C2.1. Marcado CE en: a) las piezas de MLE; b) documentación a entregar por el fabricante junto a las piezas vendidas

ANEXO D

MODELO DE INFORME A PRESENTAR POR EL FABRICANTE/PROVEEDOR DE MADERA ESTRUCTURAL

D.1. MADERA ASERRADA

La Figura D1.1 presenta un esquema de las normas a seguir para la obtención de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de la madera para el cálculo estructural y la Tabla D1.1 el modelo de registro requerido para la asignación de especies y calidades a las clases resistentes según la norma EN 1912.

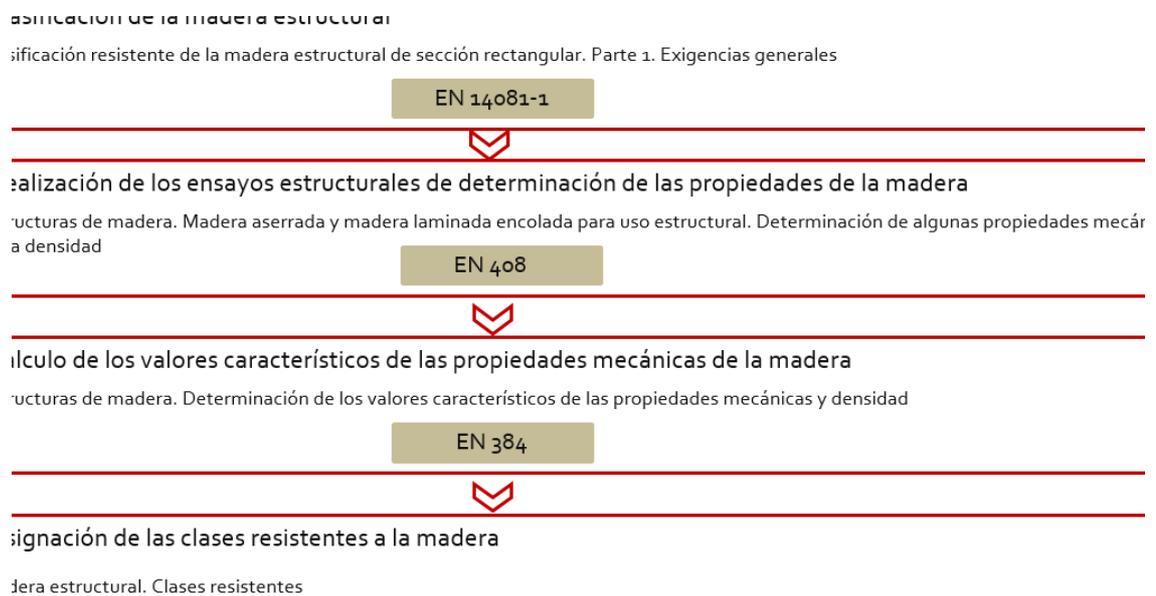


Figura D1.1. Normativa para la asignación de una clase resistente

Tabla D1.1. Modelo de registro para declarar los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad (en 384:2010)

Especie	Procedencia	Calidad	Grosor	Anchura	Nº de probetas	Contenido de humedad	MOR medio	Desviación típica	MOR 5%	Coefficiente de variación	Relación	MOR corregido	MOR característico	MOE medio	Coefficiente de variación	Relación	MOE corregido	MOE característico	Densidad 5 %	Coefficiente de variación	

D.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA

D.2.1. Informe del Ensayo Inicial Tipo

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.

Éste 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 y debe ser suministrado al comprador siempre que éste lo requiera.

D.2.2. Informe del Control de Calidad en Fábrica

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 los resultados mostrados en el Informe del Ensayo Inicial Tipo, según indicaciones de la norma EN 14080 (2013).

Dichos informes deben conservarse también durante 10 años y la información mínima que debe registrarse son los objetivos de calidad y el organigrama, los responsables del control de calidad, los procedimientos para definir la conformidad con la madera, la fabricación y el control de producción y los controles de los ensayos, así como la frecuencia con que deben realizarse.

Además, debe incluir la siguiente información relacionada con el proceso de encolado:

- 1) línea de producción
- 2) fecha y orden de fabricación
- 3) especie de la madera
- 4) clase resistente del fabricante

- 5) medidas del elemento fabricado
- 6) contenido de humedad de las tablas individuales
- 7) hora de comienzo de la aplicación del adhesivo
- 8) hora del comienzo y final del proceso de prensado
- 9) presión de prensado
- 10) tipo de adhesivo
- 11) proporción de mezcla de resina y endurecedor, si procede
- 12) cantidad de adhesivo (g/m^2)
- 13) información sobre el tratamiento protector aplicado a las láminas de madera, si éstas fueron tratadas
- 14) temperatura y humedad relativa de las instalaciones de almacenamiento de la madera, de las instalaciones de encolado y de las instalaciones de aplicación y fraguado del adhesivo
- 15) calibración del xilohigrómetro
- 16) nombre del responsable de personal

ANEXO E

EJEMPLOS DE SELLOS DE CERTIFICACION DE PRODUCTOS DE MADERA QUE SE COMERCIALIZAN EN URUGUAY

Se describe a continuación el contenido de aquellos sellos de certificación de calidad más comúnmente encontrados en los productos de madera que se comercializan en Uruguay.

E.1. SELLO DE CERTIFICACIÓN DE MADERA ASERRADA IMPORTADA

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 Figura E.1 muestra un ejemplo de sello para una pieza de madera aserrada clasificada según SPIB.

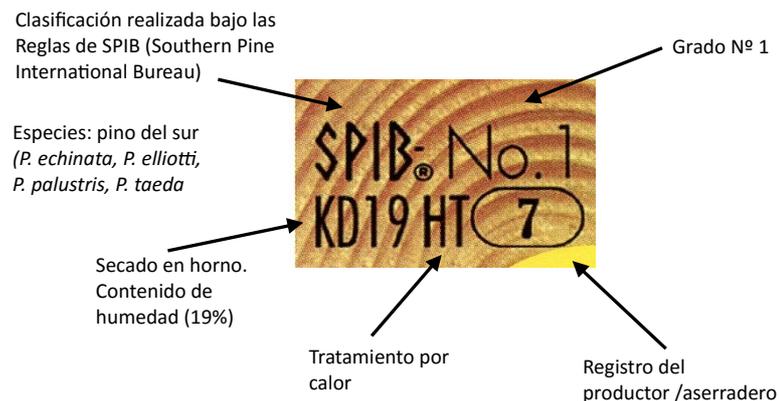


Figura E.1. Sello de certificación técnica bajo las reglas de clasificación del Southern Pine International Bureau.

Información sobre las reglas de clasificación de SPIB y de las propiedades estructurales están disponibles en:

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

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

E.2. SELLO DE CERTIFICACIÓN DE TABLEROS CONTRACHAPADOS

Sello de TECO con las especificaciones técnicas de tablero contrachapado mixto de eucalipto y pino, que se produce en Uruguay y recomendaciones de instalación. La Figura E.2 muestra un ejemplo de sello para tablero contrachapado de *Eucalyptus grandis* producido y comercializado en Uruguay. Información adicional sobre los contenidos del sello en:

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

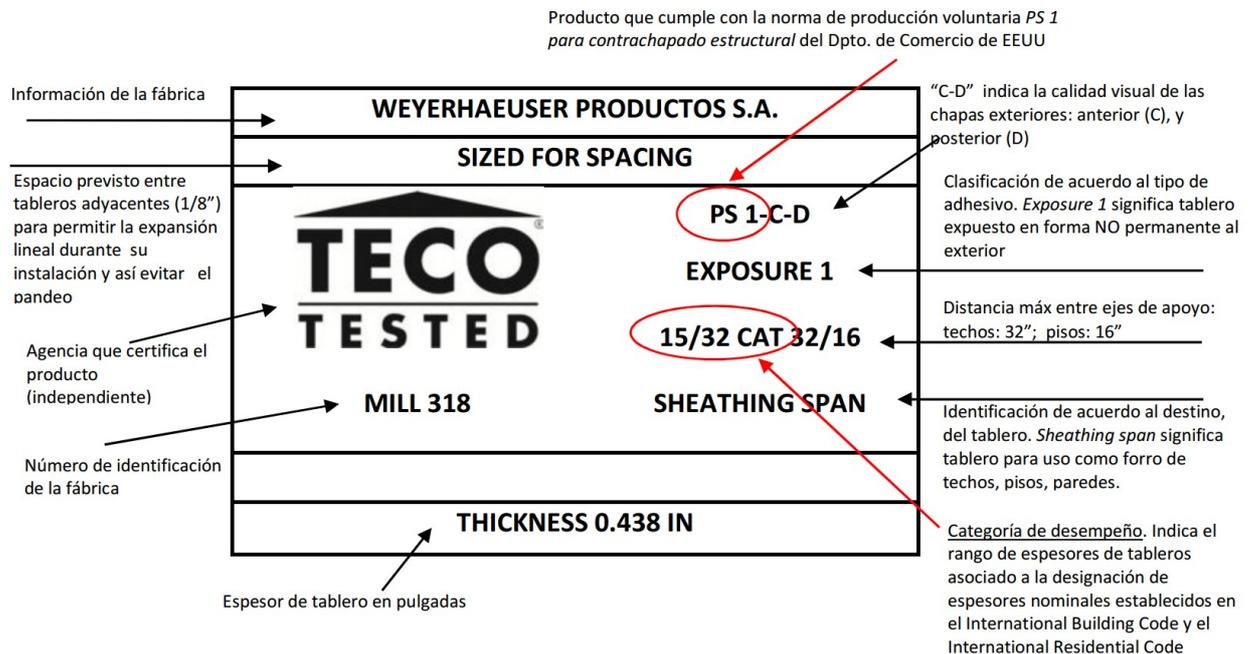


Figura E.2. Sello de certificación técnica de tablero contrachapado producido en Uruguay (Adaptado de <http://www.tecotested.com/>)

La descripción de los productos se encuentra disponible en:

http://www.weyerhaeuser.com/files/4114/4019/2653/Lumin_Brochure_Spanish.pdf

E.3. SELLO DE CERTIFICACIÓN TABLEROS OSB

La Figura E.3 muestra un ejemplo de sello para tablero OSB que se comercializa en Uruguay. Los contenidos del sello son similares a los del tablero contrachapado. Información adicional en:

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

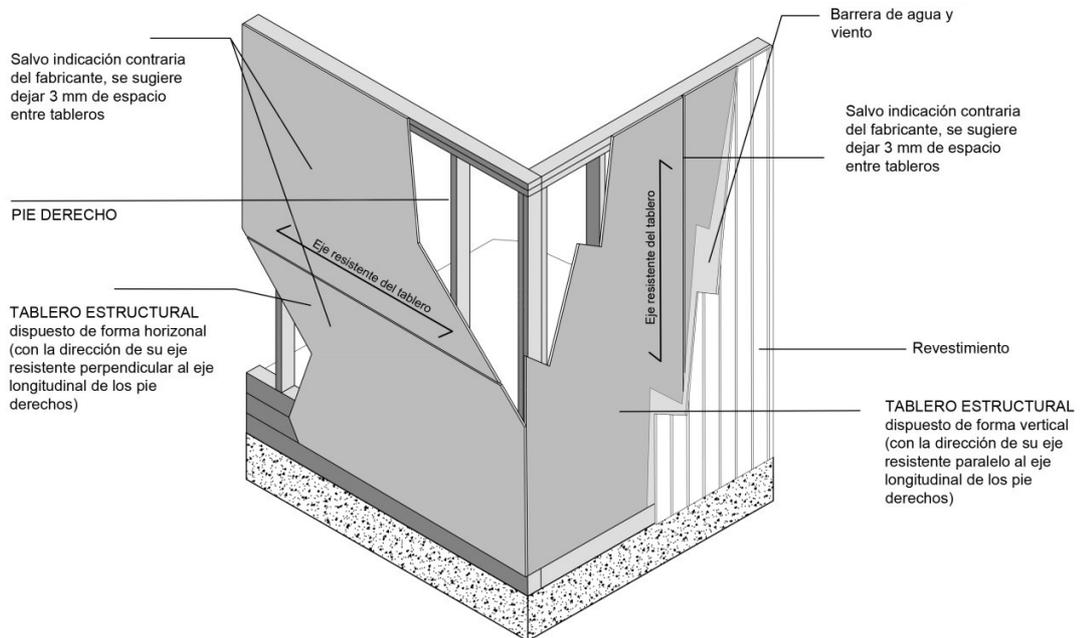


Figura E.3. Sello de certificación técnica de tablero OSB (Extraído de <http://www.apawood.org/>)

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).

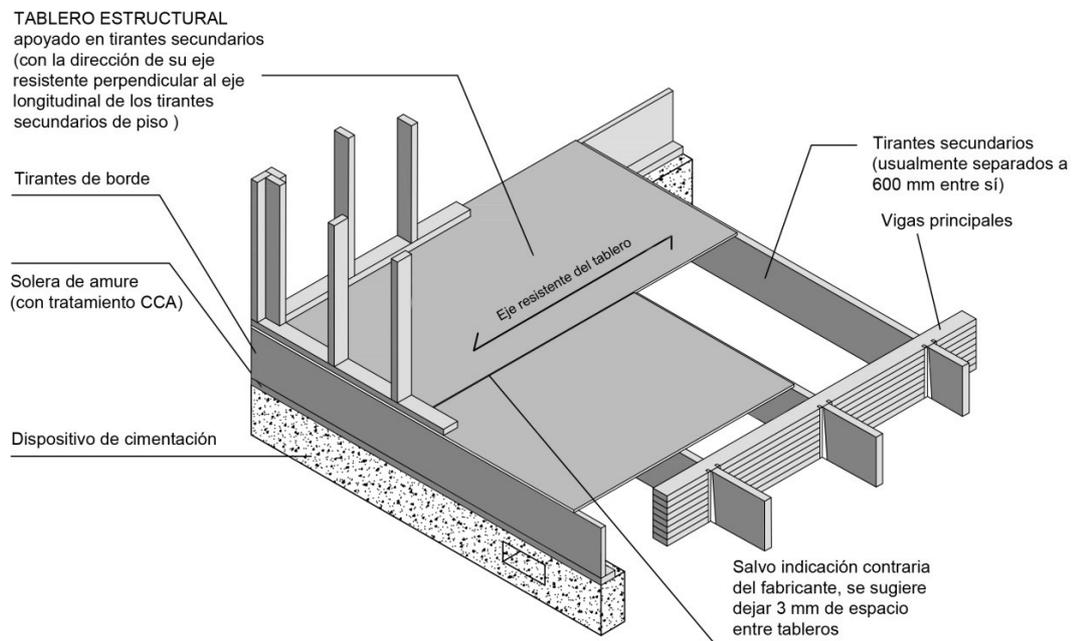
<http://osbguide.tecotested.com/pdfs/en/tm420.pdf>

E.4. RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN DE TABLEROS ESTRUCTURALES



Detalles adaptados de APA WOOD Web: <http://www.apacad.org/> Acceso: 29/10/2015

Figura E4.1. Instalación de tableros en muros portantes (Adaptado de <http://www.apacad.org/>)



Detalles adaptados de APA WOOD Web: <http://www.apacad.org/> Acceso: 29/10/2015

Figura E4.2. Instalación de tableros en estructuras de pisos (Adaptado de <http://www.apacad.org/>)

Diciembre 2015

Vanesa Baño Gómez

Instituto de Estructuras y Transporte - Facultad de Ingeniería - Universidad de la República

Laura Moya Silva

Facultad de Arquitectura - Universidad ORT Uruguay

ISBN: 978-9974-0-1331-5



9 789974 013315