

Fuente: Media Madera (www.mediamadera.com)



ESTRUCTURAS DE MADERA

3.3. Madera laminada encolada

FACULTAD DE
INGENIERIA



1. Definición

2. Antecedentes

3. Fabricación

4. Dimensiones

5. Clases resistentes

6. Ensayos y control de calidad

3.3. Madera laminada encolada

DEFINICIÓN

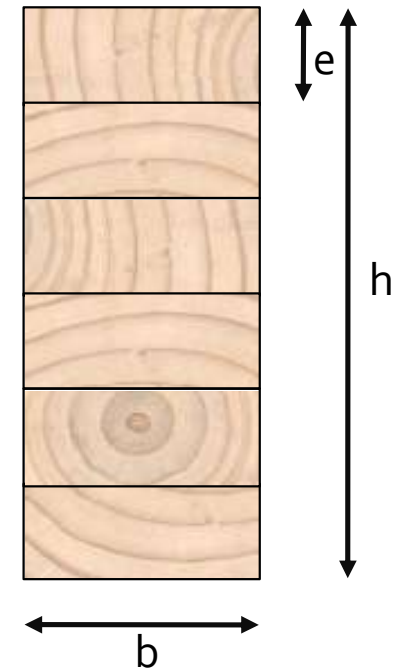
MADERA LAMINADA ENCOLADA

MLE

GLUED LAMINATED TIMBER

GLULAM

Piezas de sección rectangular constituidas por láminas de madera aserrada con la dirección de la fibra paralela y encoladas entre sí según la cara con adhesivos durables y resistentes desde el punto de vista estructural y ambiental

www.sierolam.com

MADERA ASERRADA VS. MADERA LAMINADA ENCOLADA

MADERA ASERRADA

VENTAJAS

MÁS NATURAL

MENOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN

MÁS BARATA

ESTÉTICA: SINGULARIDADES VISIBLES

INCONVENIENTES

HETEROGÉNEA: SINGULARIDADES

LIMITACIONES EN LONGITUD Y SECCIÓN

DIFICULTAD DE SECADO

PIEZAS RECTAS



www.timberframehome.wordpress.com

MADERA LAMINADA ENCOLADA

VENTAJAS

GRANDES LONGITUDES

SECCIONES VARIABLES Y CANTO ELEVADO

CURVADO

HOMOGENEA

DEFINICIÓN DE CALIDADES

INCONVENIENTES

PROCESO MÁS INDUSTRIALIZADO

MENOS ECOLÓGICO: COLAS

MAYOR COSTO



www.lilleheden.dk



www.ihb.de

1. Definición

2. Antecedentes

3. Fabricación

4. Dimensiones

5. Clases resistentes

6. Ensayos y control de calidad

3.3. Madera laminada encolada

ANTECEDENTES

Philibert de l'Orme (Francia)

1515-1570

ARCOS

Tablas de madera recortadas de 1.5-2.5 m de longitud clavadas entre sí.
Ejemplo: Castillo de Mulette (1548)

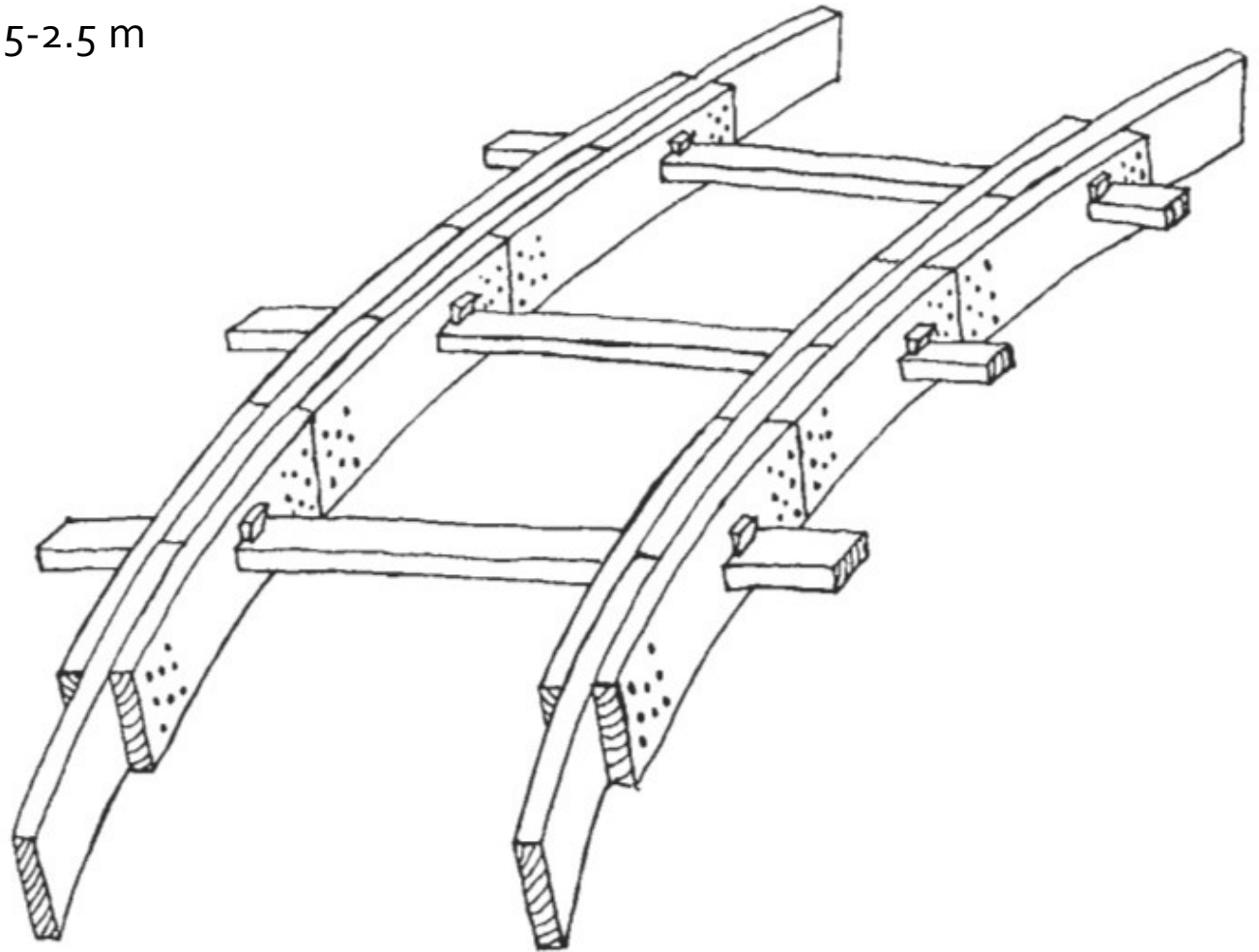


Fig. 3 - ARRIOSTRAMIENTO LATERAL.
ARMADURA TIPO DE L'ORME

ANTECEDENTES

Coronel Emy (Francia)

1771-1851

SISTEMA CONSTRUCTIVO EMY

Traité de l'Art de la Charpenterie (1830)

Se considera el primer ejemplo de madera laminada (no encolada), diseñado para cubrir habitaciones de gran tamaño.

Fabricación de vigas curvas mediante tablas de madera acopladas de plano en sentido horizontal y trabadas con pasadores metálicos, piezas de madera y bridas metálicas.

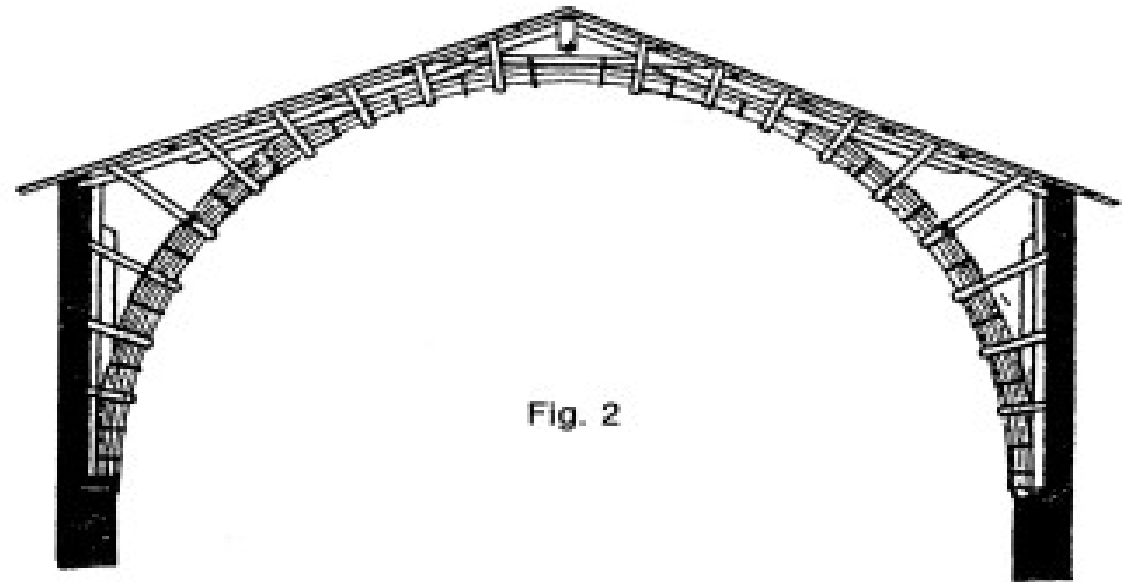


Fig. 2

www.ruc.udc.es

Ejemplo: Marac's barrack

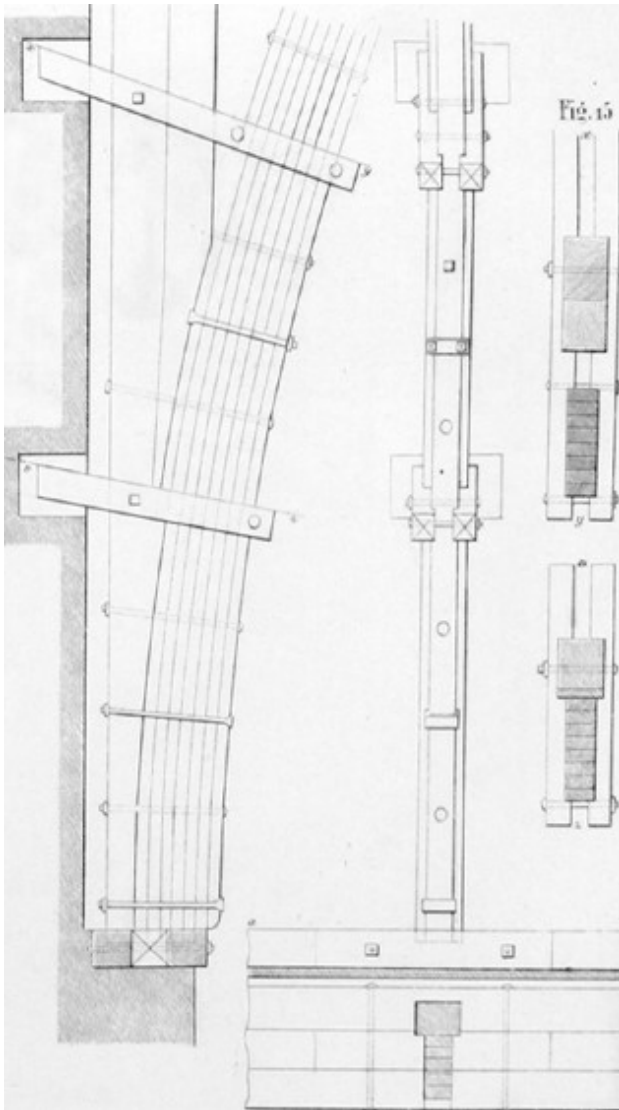
Luis Somoza Veiga. Prof. ETS Arquitectura Coruña- España. "La madera laminada encolada: historia y definición". www.ruc.udc.es
Alessandra Mongelli. "A new wood roofing system: Marac's Barracks and Colonel Armand Rose Emy's innovative system" www.arct.cam.ac.uk

ANTECEDENTES

Coronel Emy (Francia)

1771-1851

SISTEMA CONSTRUCTIVO EMY



Alessandra Mongelli. "A new wood roofing system: Marac's Barracks and Colonel Armand Rose Emy's innovative system" www.arct.cam.ac.uk

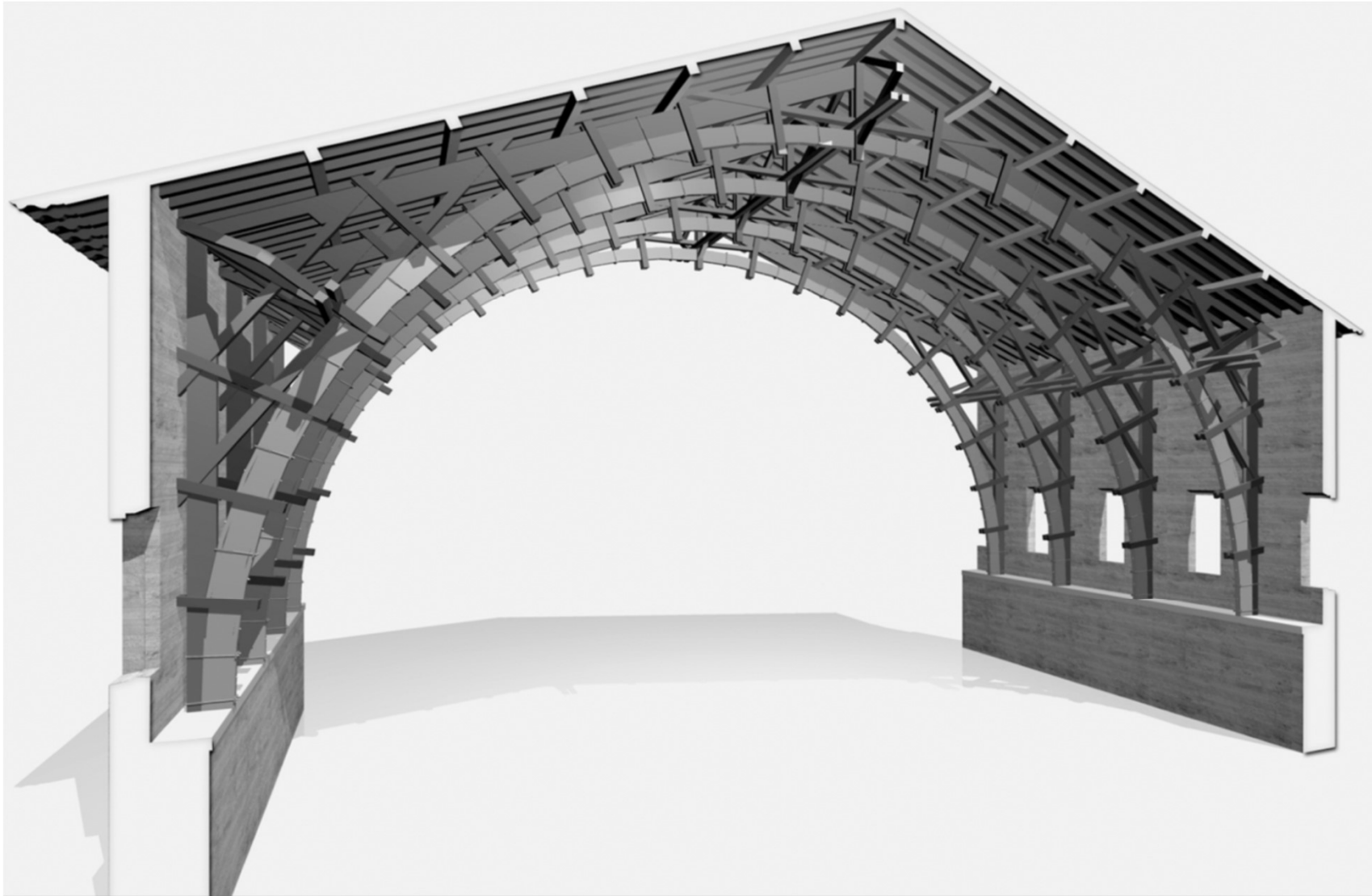
Fotografía de Bonnel, 1960

ANTECEDENTES

Coronel Emy (Francia)

1771-1851

SISTEMA CONSTRUCTIVO EMY



Alessandra Mongelli. "A new wood roofing system: Marac's Barracks and Colonel Armand Rose Emy's innovative system" www.arct.cam.ac.uk

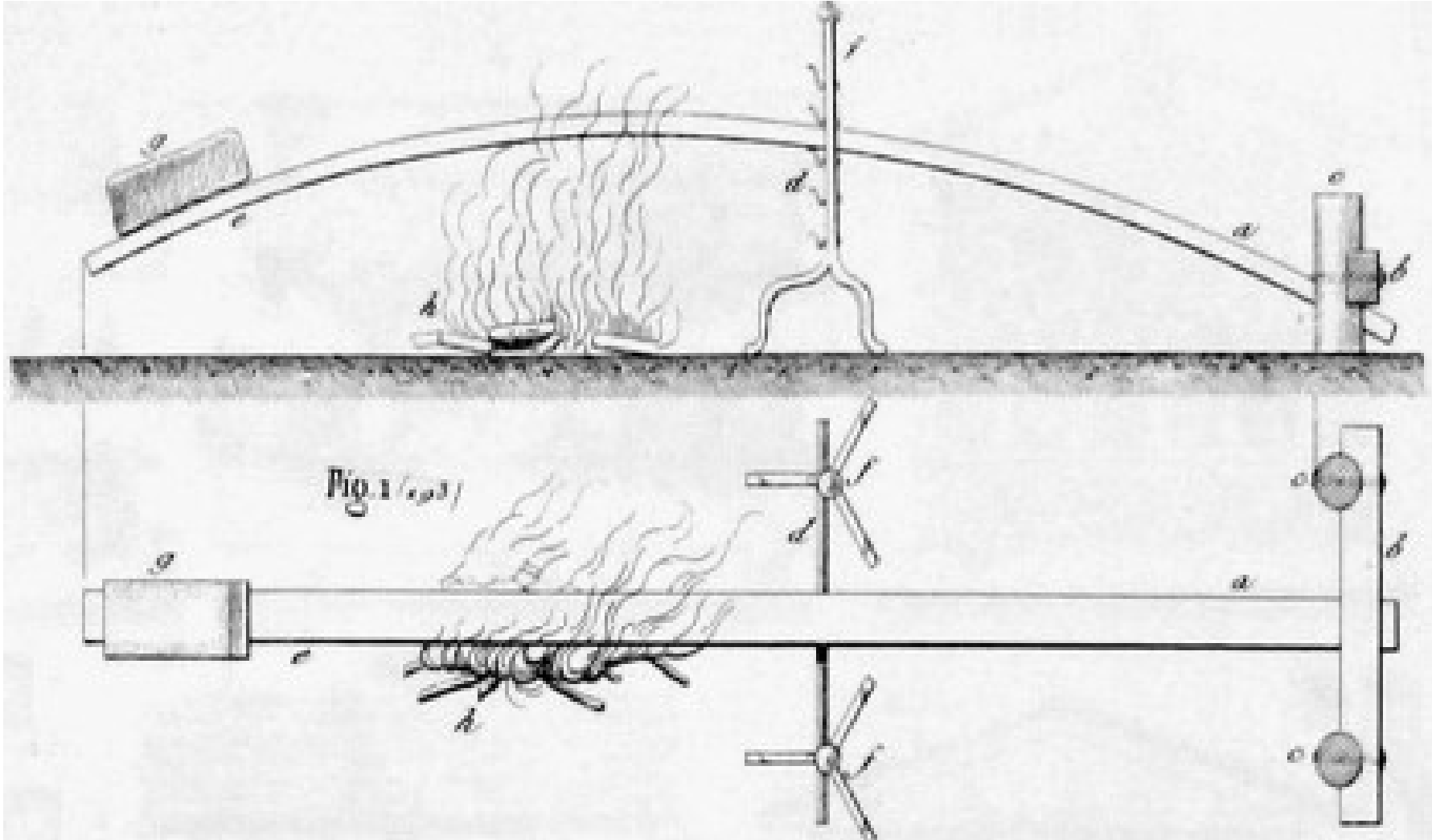
ANTECEDENTES

Coronel Emy (Francia)

1771-1851

SISTEMA CONSTRUCTIVO EMY

CURVADO: el calor afecta a la lignina



Alessandra Mongelli. "A new wood roofing system: Marac's Barracks and Colonel Armand Rose Emy's innovative system" www.arct.cam.ac.uk

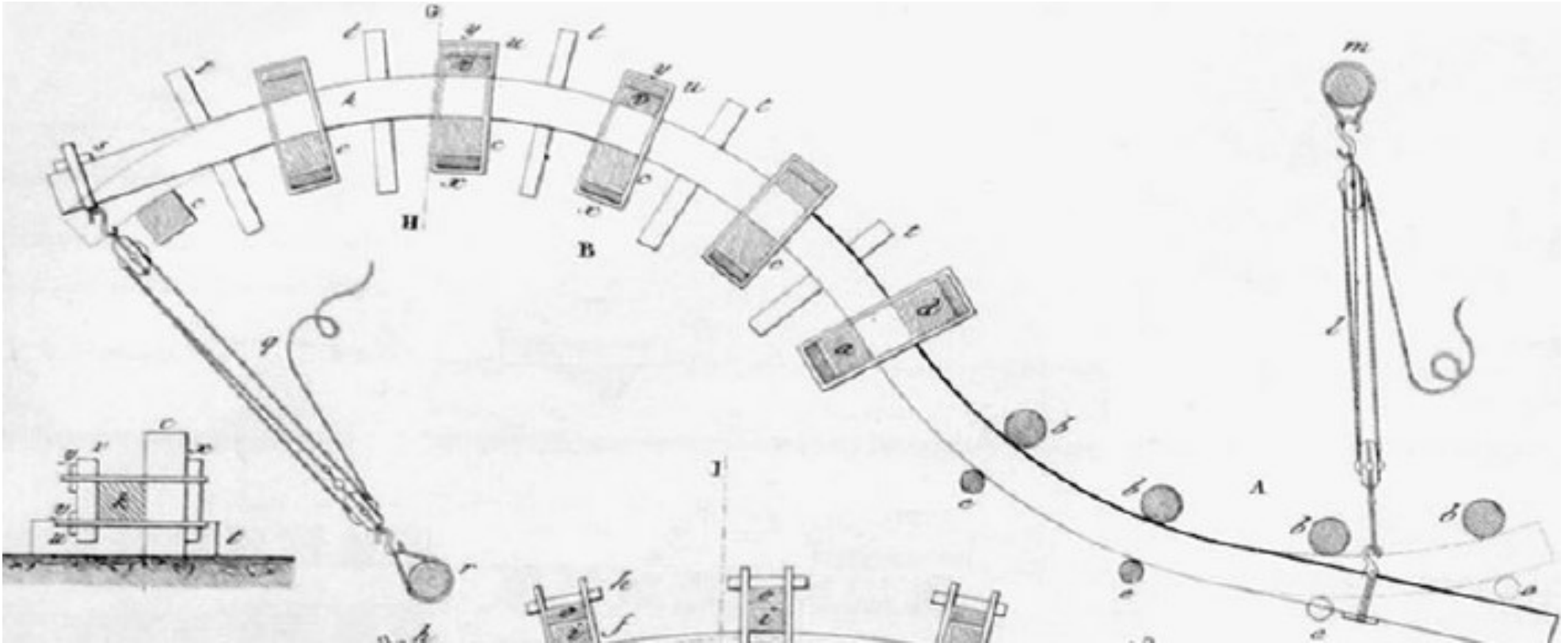
ANTECEDENTES

Coronel Emy (Francia)

1771-1851

SISTEMA CONSTRUCTIVO EMY

CURVADO



Alessandra Mongelli. "A new wood roofing system: Marac's Barracks and Colonel Armand Rose Emy's innovative system" www.arct.cam.ac.uk

ANTECEDENTES

Otto Hetzer (Weimar, Alemania)

1846-1911

MADERA LAMINADA ENCOLADA

www.otto-hetzer.ch



www.otto-hetzer.ch

Grand Prix!
Brüssel 1910.



AITIM, 1999. Boletín de información técnica N° 198. "Historia de los orígenes y primeros desarrollos". www.infomadera.net

Patente vigas rectas

1901

Patente vigas curvas

1906



www.otto-hetzer.ch



Actualidad

3.3. MADERA LAMINADA ENCOLADA



Fotografía del Óvalo Olímpico de Richmond, en Vancouver (The Architectural Review 2010)

1. Definición

2. Antecedentes

3. **Fabricación**

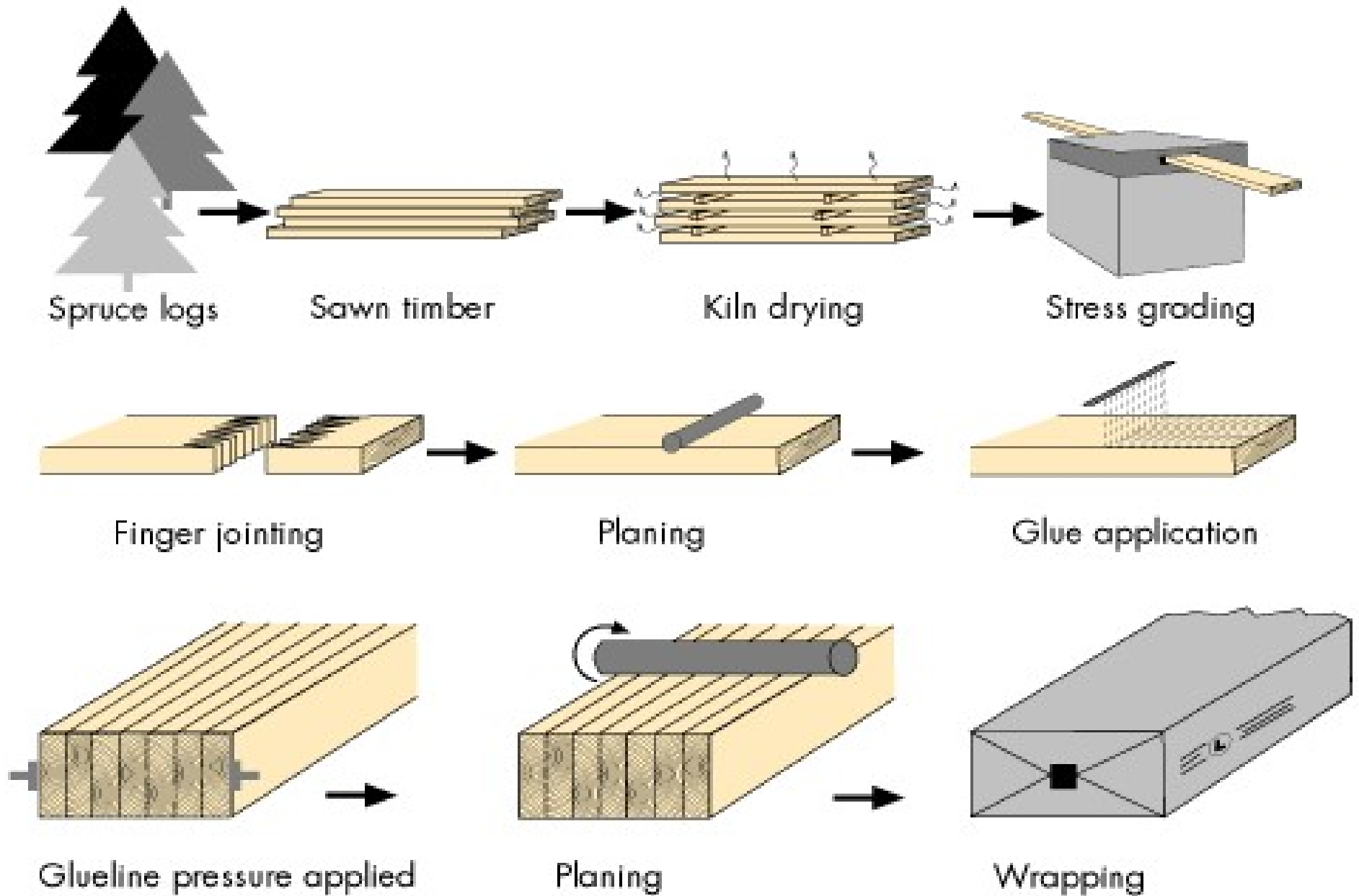
4. Dimensiones

5. Clases resistentes

6. Ensayos y control de calidad

3.3. Madera laminada encolada

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.



www.svensktlimtra.se

NORMATIVA EUROPEA DE FABRICACIÓN DE LA M.L.E.

norma
española

UNE-EN 14080

Diciembre 2013

TÍTULO

Estructuras de madera

Madera laminada encolada y madera maciza encolada

Requisitos

NORMATIVA EUROPEA DE FABRICACIÓN DE LA M.L.E.

TC124 WG3_N0440

CEN/TC 124

Date: 2014-09-06

WD WI 124250:2014

CEN/TC 124

Secretariat: AFNOR

**Timber structures – Glued laminated timber made of
hardwood- Requirements**

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

CONDICIONES DE PRODUCCIÓN

1. T^a LOCAL $\geq 15^{\circ}\text{C}$
2. H.R. LOCAL: 40-75 %
3. ZONA ALMACENAMIENTO

EN 14080



EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

LÁMINAS M.A.



www.binderholz.com

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

LÁMINAS M.A.

1. SECADO AL AIRE
2. SECADO EN CÁMARA

CONTENIDOS DE HUMEDAD (EN 14080):

MADERA NO TRATADA: 6-15%

MADERA TRATADA: 11-18%

DIFERENCIA DE CH ENTRE 2 TABLAS < 5%



ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

MADERA ASERRADA

1. SECADO AL AIRE

2. SECADO EN CÁMARA

ESPEORES DE LÁMINA (EN 14080):

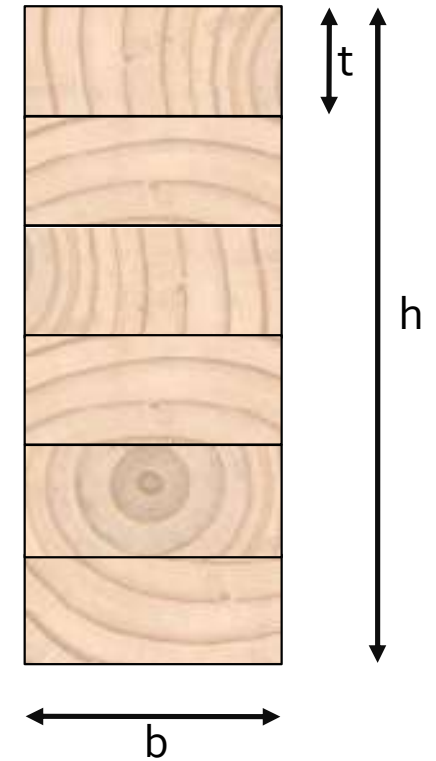


Tabla I.2 – Grosor total recomendado t de las láminas, en mm

	Clase de servicio (CS) conforme con la Norma EN 1995-1-1	
	CS 1 o 2	CS 3
Madera laminada encolada	$6 \leq t \leq 45$	$6 \leq t \leq 35^a$
Madera maciza encolada	$45 < t \leq 85$	–

^a Para madera laminada encolada que no vaya a ser componente de madera laminada encolada en bloque y que presente una superficie de sección de hasta 60 000 mm², puede aumentarse este valor por acuerdo entre cliente y fabricante.

EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

MADERA ASERRADA

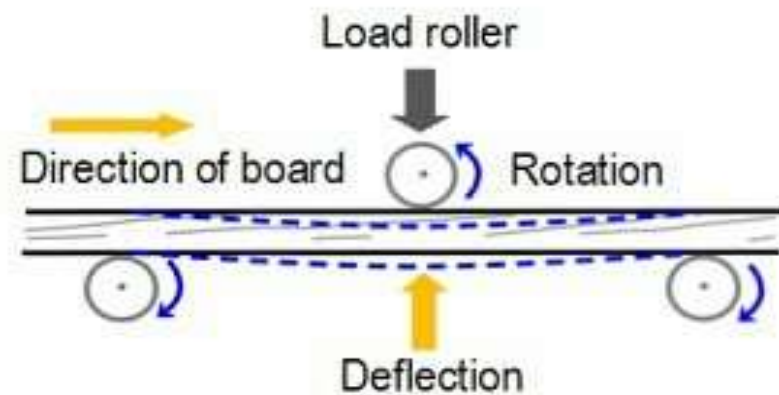
1. SECADO AL AIRE
2. SECADO EN CÁMARA
3. CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL



NORMAS POR PAÍS



EN 14081-2

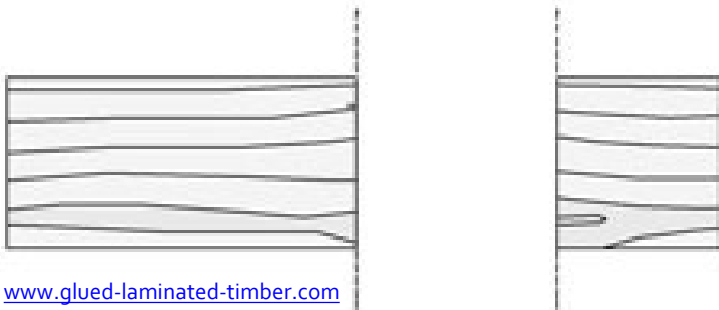
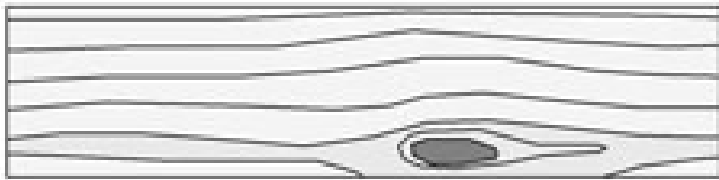


www.toolboxes.flexiblelearning.net.au

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

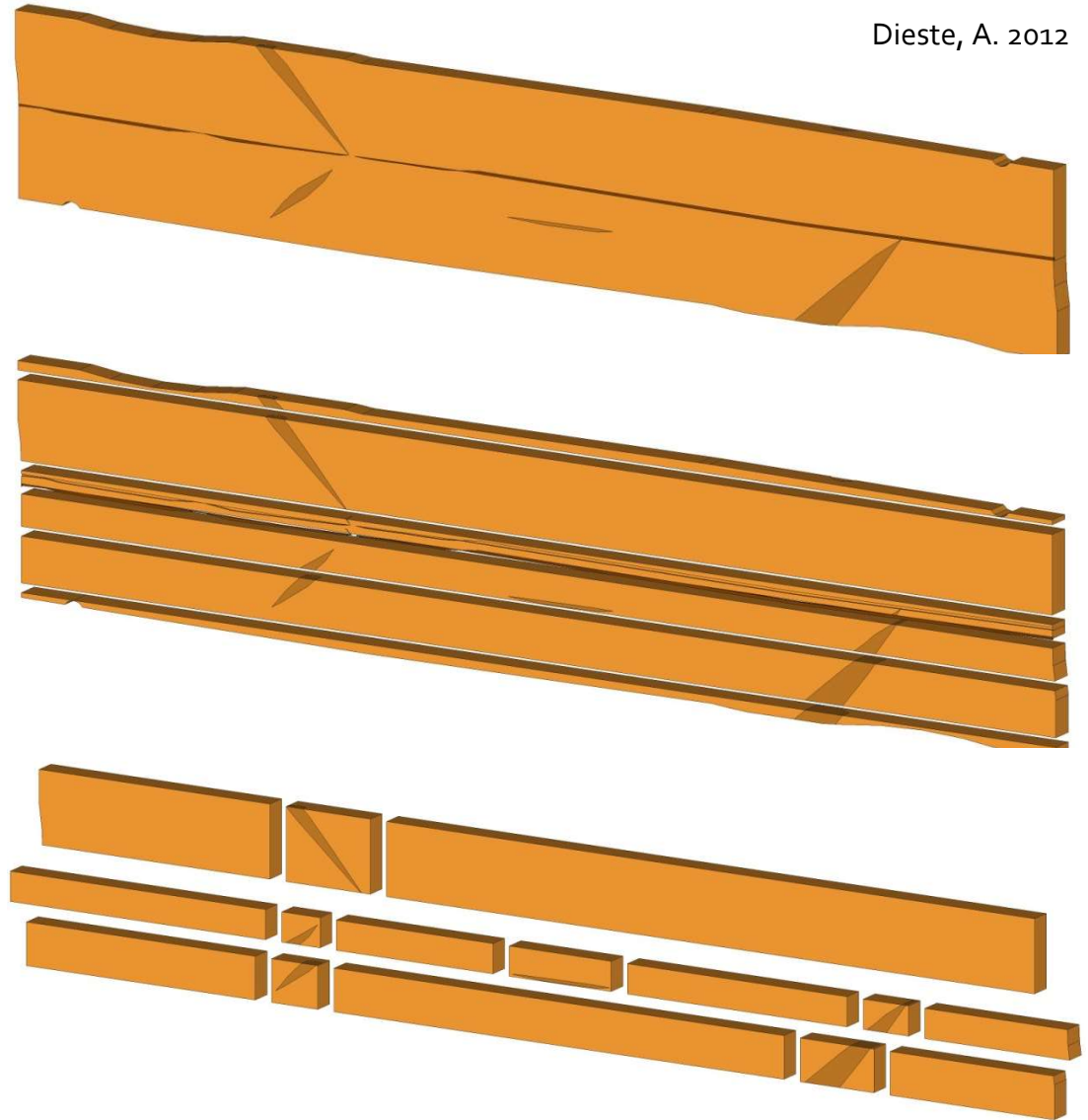
MADERA ASERRADA

1. SECADO AL AIRE
2. SECADO EN CÁMARA
3. CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL
4. OPTIMIZACIÓN



www.glued-laminated-timber.com

Dieste, A. 2012

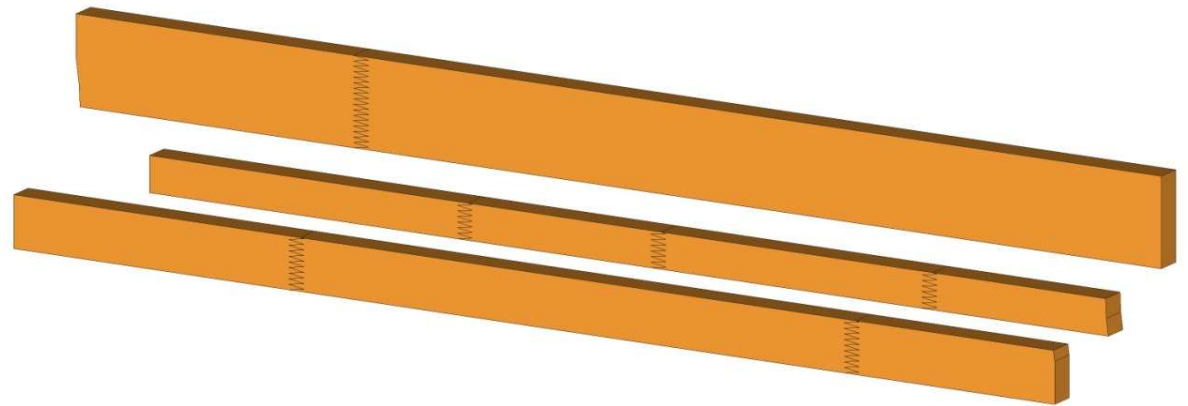
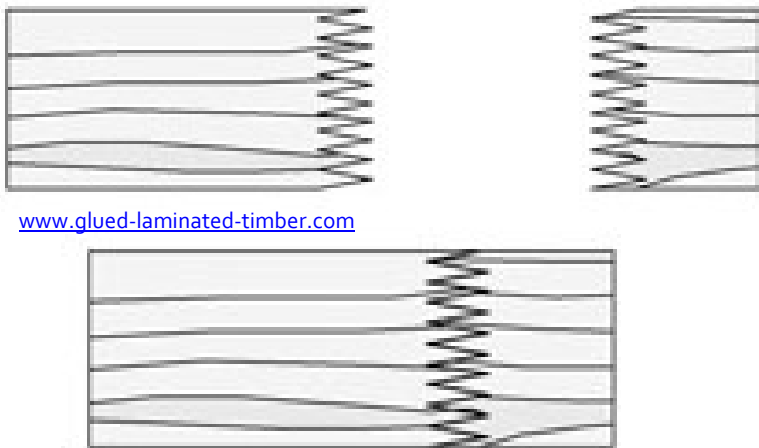
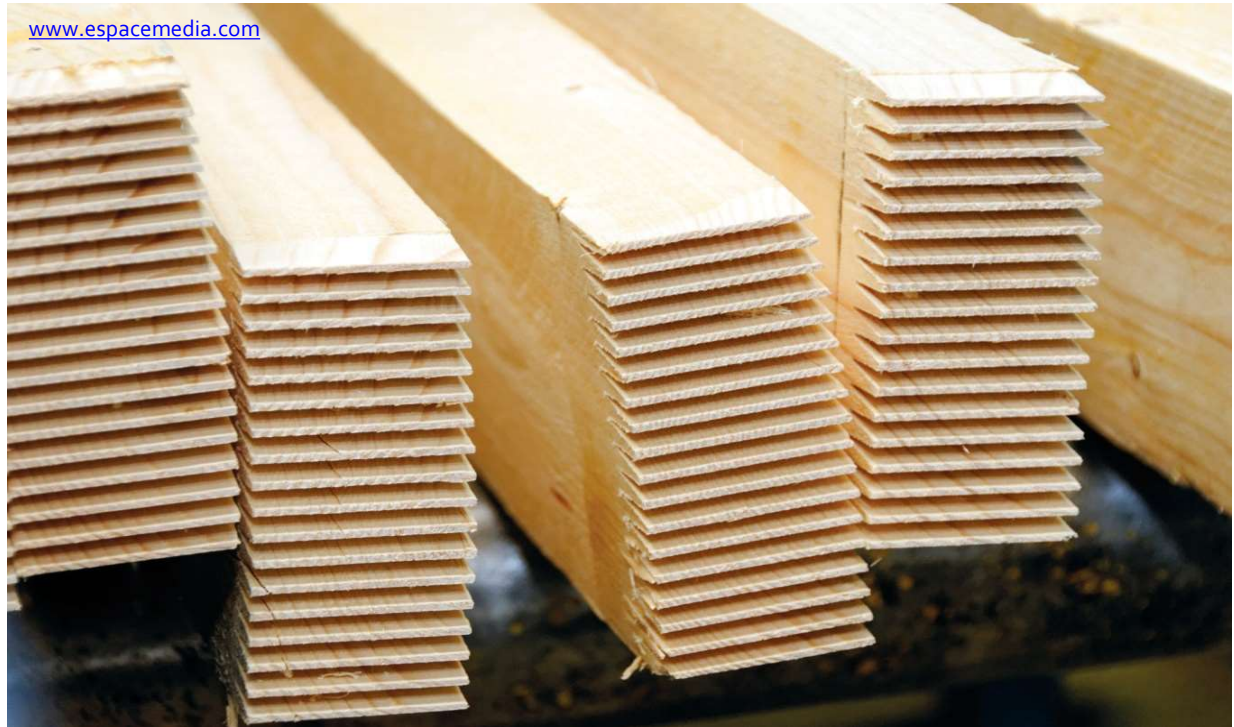


Dieste, A. 2012. "Programa de promoción de exportaciones de productos de madera". Dirección Nacional de Industrias , Energía y Minería. Consejo Sectorial Forestal-Madera.

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

MADERA ASERRADA

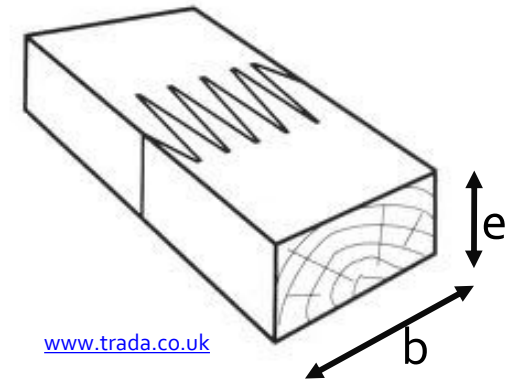
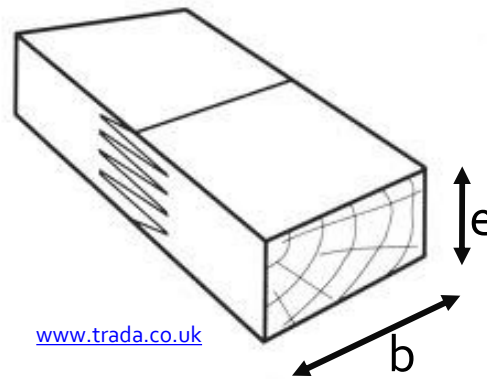
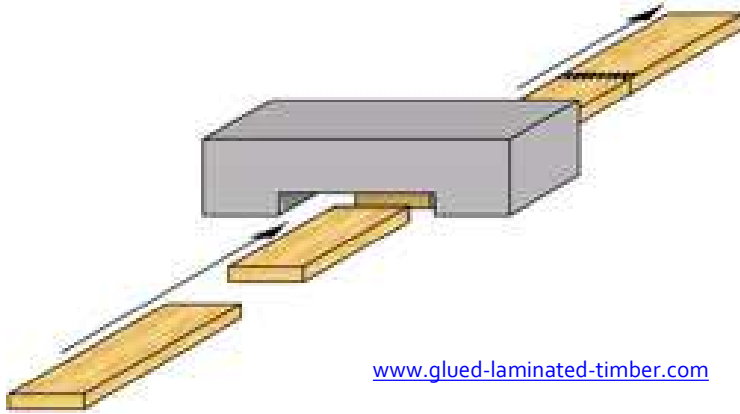
1. SECADO AL AIRE
2. SECADO EN CÁMARA
3. CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL
4. OPTIMIZACIÓN
5. FINGER JOINT



ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

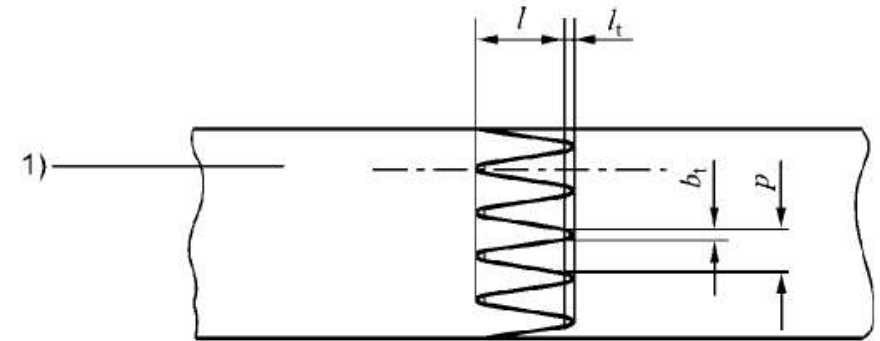
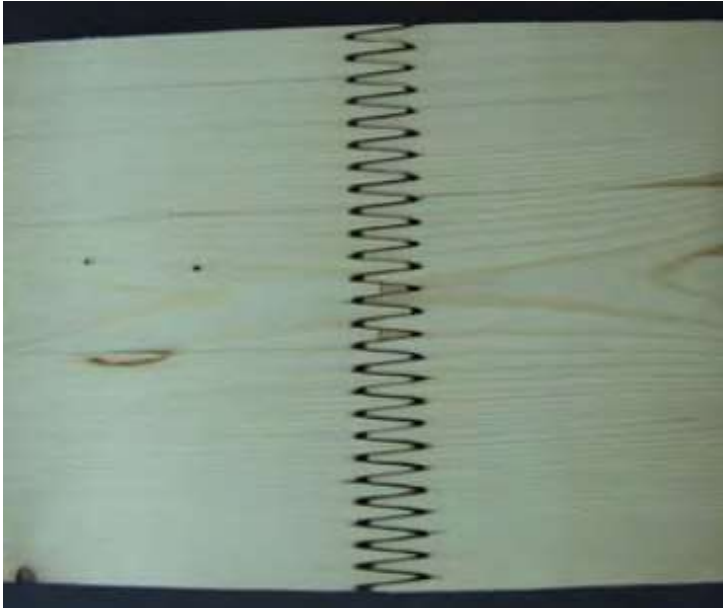
1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA



ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA



DISTANCIA LONGITUDINAL ENTRE UNIONES: 400-1200 mm

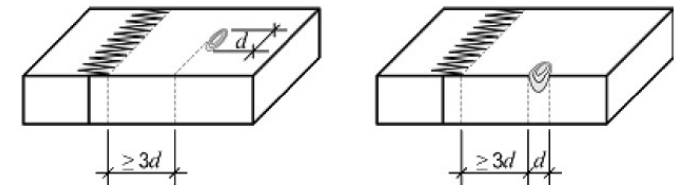
Leyenda

- l la longitud del diente
- p paso
- b_t anchura de la punta
- l_t holgura en la punta
- 1) Dirección simétrica

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

Tabla I.1 – Geometrías recomendadas del dentado

Longitud del diente l_i (mm)	Paso p (mm)	Anchura del diente b_t (mm)	Factor de reducción v
15	3,8	0,42	0,11
20	5,0	0,5	0,10
20	6,2	1,0	0,16
30	6,2	0,6	0,10

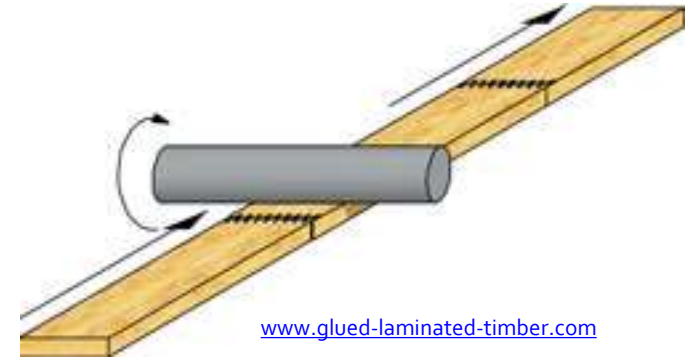


EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS



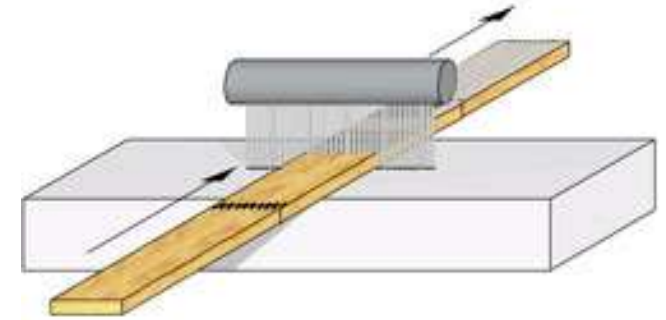
	Desviación máxima respecto al grosor medio (mm)	
	En la anchura (b)	En una longitud de lamina de 1 m
Tipo de adhesivo utilizado en el encolado de las láminas		
Adhesivo fenólico y aminoplástico mezclados antes de la aplicación		±0,2mm
Adhesivo fenólico y aminoplástico con aplicación por separado entre 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

EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO



TIEMPOS ENTRE CEPILLADO Y ENCOLADO:

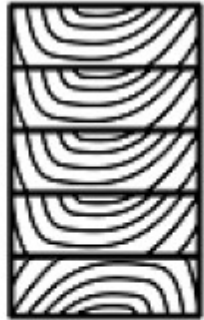
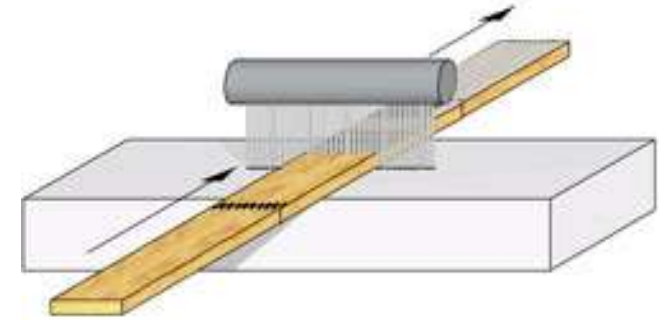
MADERA NO TRATADA: 24 horas

MADERA TRATADA: 6 horas

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

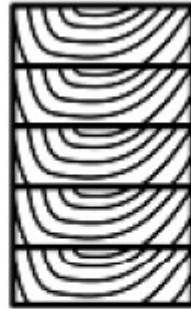
FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO



a)

a) Orientación general



b)

b) Orientación aceptada en CS 1 y 2



DOSIFICACIÓN $\geq 350 \text{ g/m}^2$

EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

TIPOS DE ADHESIVOS

FENÓLICOS Y AMINOPLÁSTICOS

ADHESIVOS MF, MUF, PRF, UF

POLIURETANO

POLIURETANO MONOCOMPONENTE DE CURADO EN HÚMEDO (PUR)

ISOCIANATO

ISOCIANATO Y POLÍMEROS EN EMULSIÓN (EPI)

Tabla 7 – Aplicabilidad de los adhesivos en los productos y componentes

	Requisitos correspondientes aplicables a		
	Adhesivos fenólicos y aminoplásticos	Adhesivos de poliuretano monocomponentes de curado en húmedo	Adhesivos basados en isocianato y polímeros en emulsión
Empalmes por unión dentada en las laminas de madera maciza encolada	5.5.3.2.1 y 5.5.3.2.2 (si es el caso)	5.5.3.3	5.5.3.4
Planos de encolado entre laminas para madera laminada encolada y madera maciza encolada	5.5.3.2.1	5.5.3.3	5.5.3.4
Uniones macrodentadas	5.5.3.2.1 mezcla previa a la utilización	No aplicables	No aplicables
Planos de encolado entre componentes de madera laminada encolada en bloque	5.5.3.2.3	No aplicables	No aplicables

EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO

TIPOS DE ADHESIVOS

Tipo I

CLASE SERVICIO 3

Tipo II

CLASE SERVICIO 1Y 2



Tabla 1 – Tipos de adhesivos para uso en diferentes condiciones climáticas

Tipo de adhesivo	Temperatura	Equivalencia climática	Ejemplos	Equivalencia con las clases de servicio de la Norma EN 1995-1-1
I	>50 °C	No especificado	Exposición prolongada a temperatura elevada	1, 2, 3
I	≤50 °C	HR > 85% a 20 °C	Exposición completa a la intemperie	1, 2, 3
II	≤50 °C	HR ≤ 85% a 20 °C	Edificios con calefacción y ventilación. Exterior protegido de la intemperie. Periodos cortos de exposición a la intemperie	1, 2

NOTA. Una humedad relativa (HR) del 85% a 20 °C producirá un contenido en humedad de aproximadamente el 20% en las coníferas y en la mayoría de las frondosas, y un contenido en humedad ligeramente inferior en los tableros derivados de la madera.

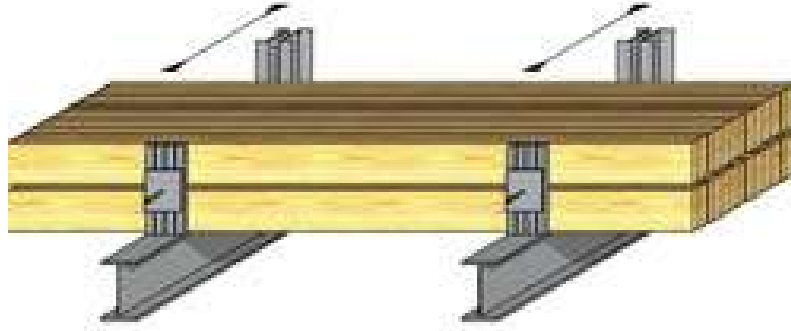
EN 301. Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. clasificación y requisitos de comportamiento

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. PRENSADO

www.glued-laminated-timber.com



www.madera.fordaq.com

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. PRENSADO

www.glued-laminated-timber.com

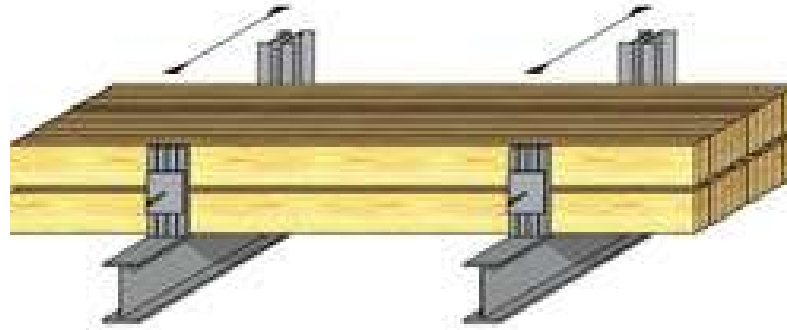


Tabla I.4 – Valores recomendados para la presión de prensado

Espesor de las láminas, t en mm	$t \leq 35$	$35 < t \leq 45$	$45 < t \leq 85$
Presión de prensado en N/mm^2	0,6 a 0,8	0,8 para láminas con ranuras 1,0 para láminas sin ranuras	0,8 a 1,0

EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. PRENSADO

www.glued-laminated-timber.com

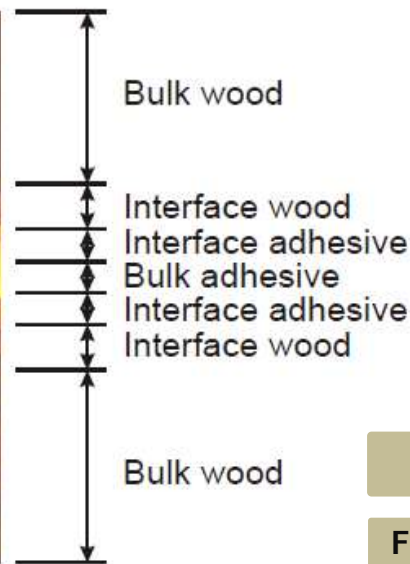
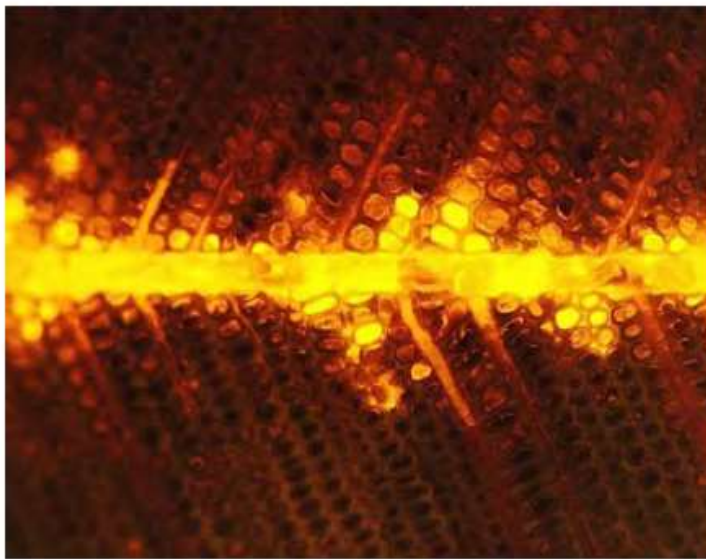
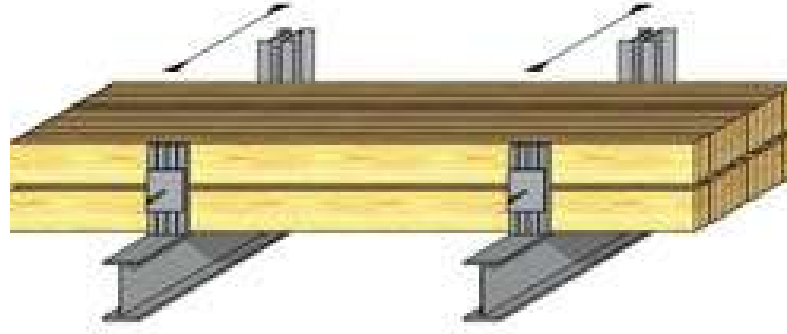


Fig. 4.1 Detail of a PUR-wood bond using fluorescence microscopy (Image by Dr. K. Richter, EMPA Dübendorf / CH, [5])

Handbook1. Timber Structures. (2008). Leonardo da Vinci Pilot Project. CZ/o6/B/F/PP/168007. Educational materials for designing and testing of timber structures. TEMTIS

GROSOR DE LÍNEA DE COLA	
FENÓLICOS Y AMINOPLÁSTICOS	<0,6 mm
Aplicación separada resina-endurecedor	<0,3 mm
POLIURETANO	<0,3 mm
ISOCIANATO	<0,3 mm

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. PRENSADO



www.glued-laminated-timber.com

CURVADO



www.dgi.com.au



www.neueholzbau.ch

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. PRENSADO

CURVADO: tensiones de flexión en la sección de la lámina

$$\sigma = (E \cdot t) / (2 \cdot r)$$

E: módulo elasticidad longitudinal

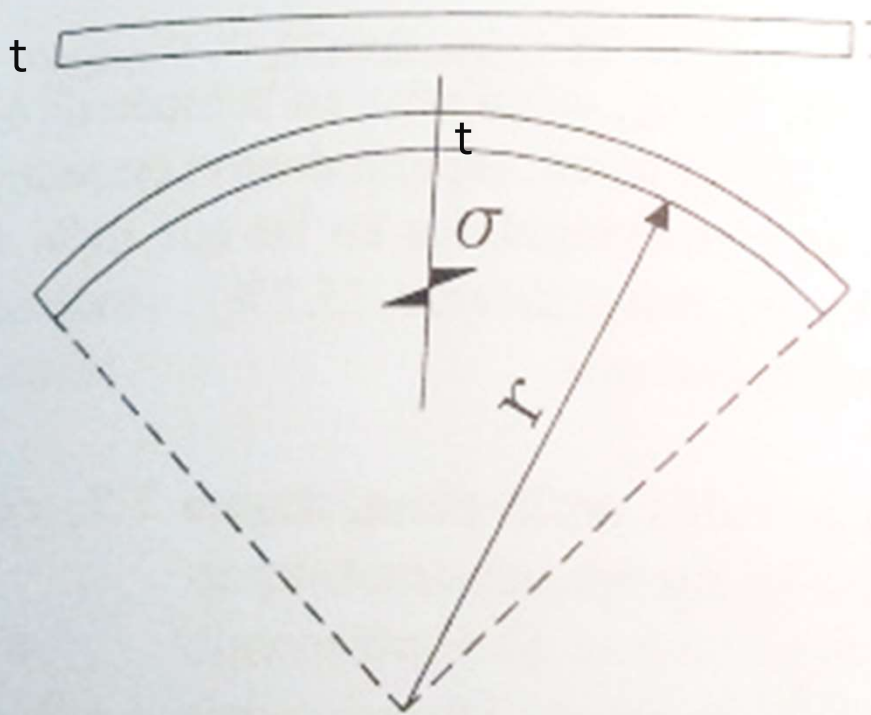
t: espesor de lámina

r: radio de curvatura de la lámina

CURVADO



Disminución de la resistencia



En el curvado se pueden alcanzar tensiones en la lámina que igualen los valores característicos de la resistencia a flexión.

Ejemplo:

D24: $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$; $E_{o,m} = 10.000 \text{ N/mm}^2$

$r = 6600 \text{ mm}$

$t = 33 \text{ mm}$

$$\sigma_{\text{máx}} = (10.000 \cdot 33) / (2 \cdot 6600) = 25 \text{ N/mm}^2$$



$$\sigma = 25 \text{ N/mm}^2 > f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA

2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS

3. ENCOLADO

4. PRENSADO

Ejemplo:

Viga MLE: láminas de clase resistente D24

$r=6600$ mm

$t=33$ mm?

CURVADO

Espesor lámina

Para la madera laminada encolada de directriz curva, el grosor admisible t de las láminas está también determinado por el radio de curvatura r de la lámina de mayor radio y por la resistencia característica a flexión de los empalmes por unión dentada. El grosor acabado t debe ser conforme con la ecuación (I.3):

$$t \leq \frac{r}{250} \left(1 + \frac{f_{m,j,dc,k}}{150} \right) \quad (I.3)$$

donde

t es el grosor acabado de las láminas;

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

$f_{m,j,dc,k}$ es el valor característico de resistencia a flexión declarado para los empalmes por unión dentada (en N/mm^2).

$$t \leq (6600/250) \cdot (1 + (24/150)) = 31 \text{ mm}$$

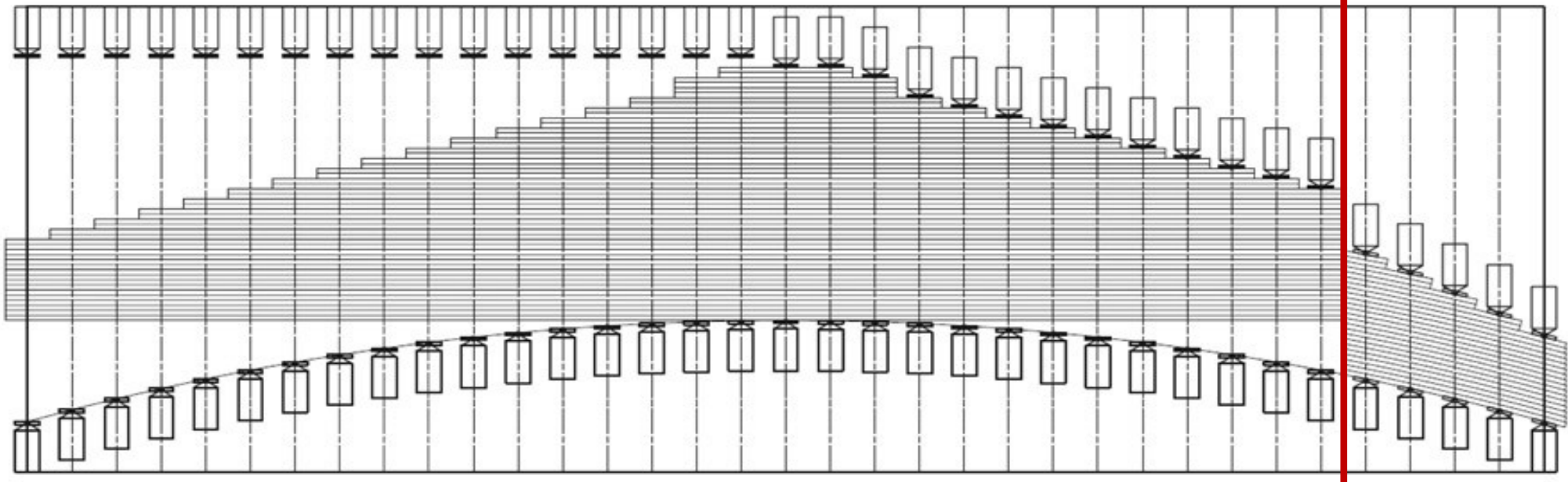
ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. PRENSADO



www.hess-timber.com



ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA

2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS

3. ENCOLADO

4. PRENSADO

5. FRAGUADO

CONDICIONANTES:

T^a madera: 18-25 °C

T^a aire: >20 °C

T^a madera: >25 °C

T^a aire: >15 °C

H.R. aire: > 30%

Tiempo entre prensado y fraguado \geq 8h

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. PRENSADO
5. FRAGUADO
6. CEPILLADO



ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. PRENSADO
5. FRAGUADO
6. CEPILLADO
7. ACABADOS Y ALMACENAJE



Media Madera, ingenieros consultores, S.L. (www.mediamadera.com)

1. Definición

2. Antecedentes

3. Fabricación

4. Dimensiones

5. Clases resistentes

6. Ensayos y control de calidad

3.3. Madera laminada encolada

DIMENSIONES COMERCIALES DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

DIMENSIONES STANDARD CONÍFERAS

b (mm)	t (mm)	h (mm)	l (m)	USO
85-95	≤45	Nº láminas x t (limitado por altura de la prensa)	12 - 13.5	C.S. 1 y 2 VIGAS RECTAS
115-120				
135-145				
160-165				
185-190				
≥210				



EJEMPLO

STANDARD BEAMS AND COLUMNS

DIMENSIONS



A wide range of standard beams is available on a short notice.

Width (mm)	Height (mm)	Length (m)
90	225 / 270 / 315 / 360 / 405 / 450	12 / 13.5
115	225 / 270 / 315 / 360 / 405 / 450	12 / 13.5
140	225 / 270 / 315 / 360 / 405 / 450	12 / 13.5
		12 / 13.5



STANDARD BEAMS AND COLUMNS

DIMENSIONS

Glulam can be delivered as single beams or complete frames. The size of the beam is only limited by transport.

Width (mm)	Height (mm)	Length (m)
90	180...2050	up to 32
115	180...2050	up to 32
140	180...2050	up to 32
165	180...2050	up to 32
190	180...2050	up to 32
215	180...2050	up to 32
240	180...2050	up to 32
265	180...2050	up to 32



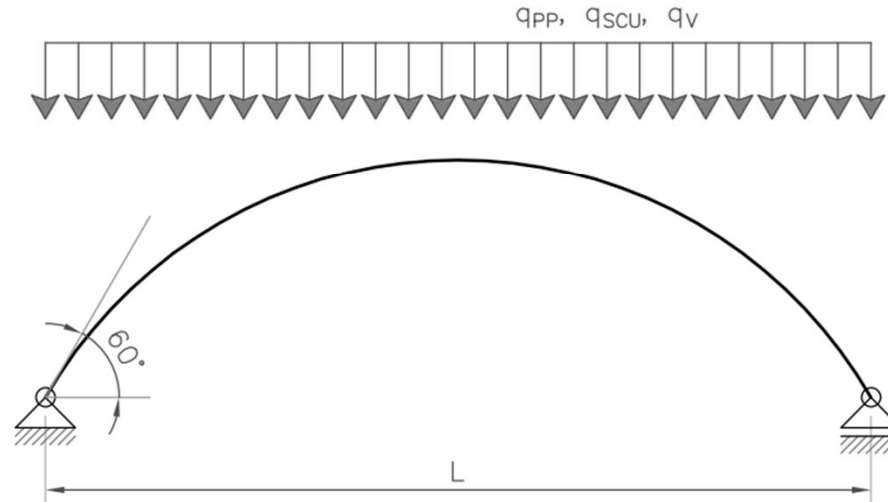
EJERCICIOS

Letra

Examen febrero 2022

Ejercicio 1

Sea un arco de madera laminada encolada, clase resistente GL24h, tal cual se muestra en la figura. El arco tiene una sección de $130 \times 380 \text{ mm}^2$ (orientada de manera óptima para resistir los esfuerzos en el plano) y una separación entre apoyos $L = 11 \text{ m}$.

**Parte a**

Considerando que la estructura se encuentra en clase de servicio 2 y que la resistencia a flexión de los empalmes por unión dentada vale $f_{m,j,dc,k} = 24 \text{ MPa}$, determinar el espesor (acabado) máximo de lámina que se debe indicar en el pliego de condiciones. Ingresar el espesor en mm, con al menos una cifra después de la coma. (Nota: asumir que las distancias indicadas en la figura son al eje del arco).

Fuente: Media Madera (www.mediamadera.com)



GRACIAS POR
LA ATENCIÓN

FACULTAD DE
INGENIERIA

