Fuente: Media Madera (www.mediamadera.com)

ESTRUCTURAS DE MADERA

3.4. Madera laminada encolada

FACULTAD DE INGENIERIA

1. Definición

2. Antecedentes

3. Fabricación

4. Dimensiones

5. Clases resistentes

6. Ensayos y control de calidad

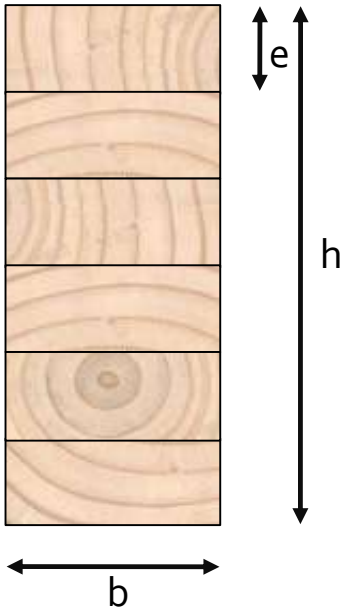
3.4. Madera laminada encolada

DEFINICIÓN

MADERA LAMINADA ENCOLADA	MLE
GLUED LAMINATED TIMBER	GLULAM

www.sierolam.com

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



MADERA ASERRADA VS. MADERA LAMINADA ENCOLADA

MADERA ASERRADA	MADERA LAMINADA ENCOLADA
VENTAJAS	**VENTAJAS**
MÁS NATURAL	GRANDES LONGITUDES
MENOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN	SECCIONES VARIABLES Y CANTO ELEVADO
MÁS BARATA	CURVADO
ESTÉTICA: SINGULARIDADES VISIBLES	HOMOGÉNEA
INCONVENIENTES	DEFINICIÓN DE CALIDADES
HETEROGÉNEA: SINGULARIDADES	**INCONVENIENTES**
LIMITACIONES EN LONGITUD Y SECCIÓN	PROCESO MÁS INDUSTRIALIZADO
DIFICULTAD DE SECADO	MENOS ECOLÓGICO: COLAS
PIEZAS RECTAS	MAYOR COSTO

1. Definición

2. Antecedentes

3. Fabricación

4. Dimensiones

5. Clases resistentes

6. Ensayos y control de calidad

3.4. 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 Muette (1548)

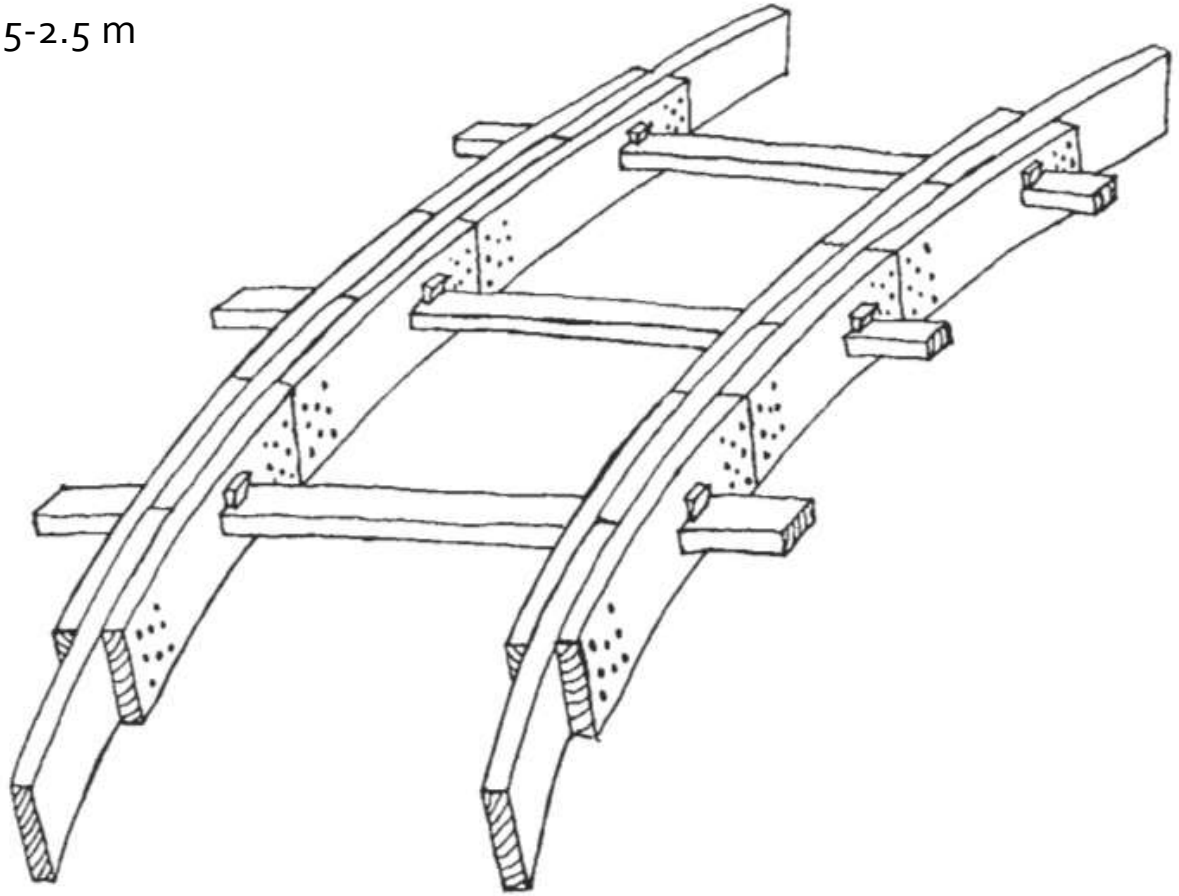


Fig. 3 - ARRIOSTRAMIENTO LATERAL.
ARMADURA TIPO DE L'ORME

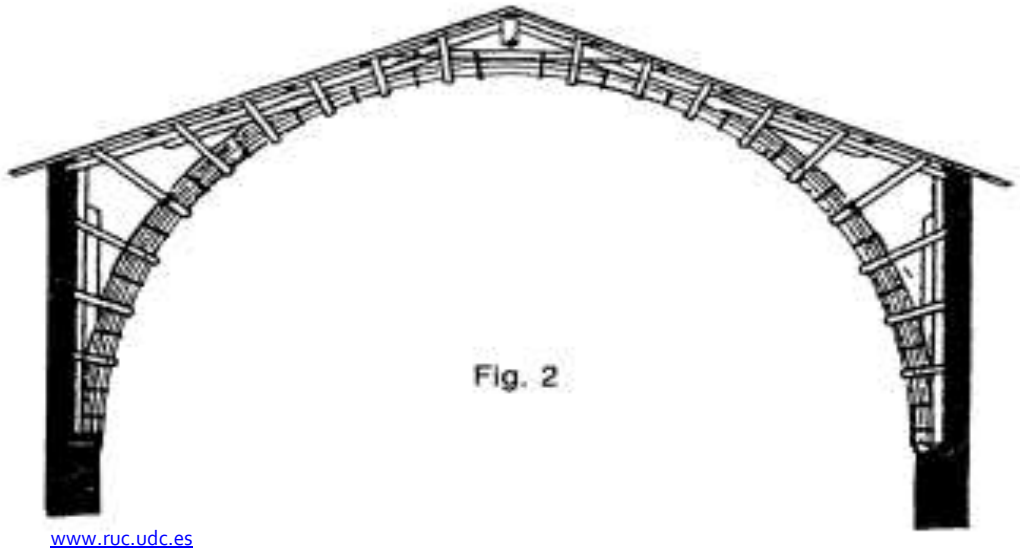
ANTECEDENTES

Coronel Emy (Francia)	**1771-1851**	**SISTEMA CONSTRUCTIVO EMY**

Traité de l'Art de la Charpinterie (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.



www.ruc.udc.es

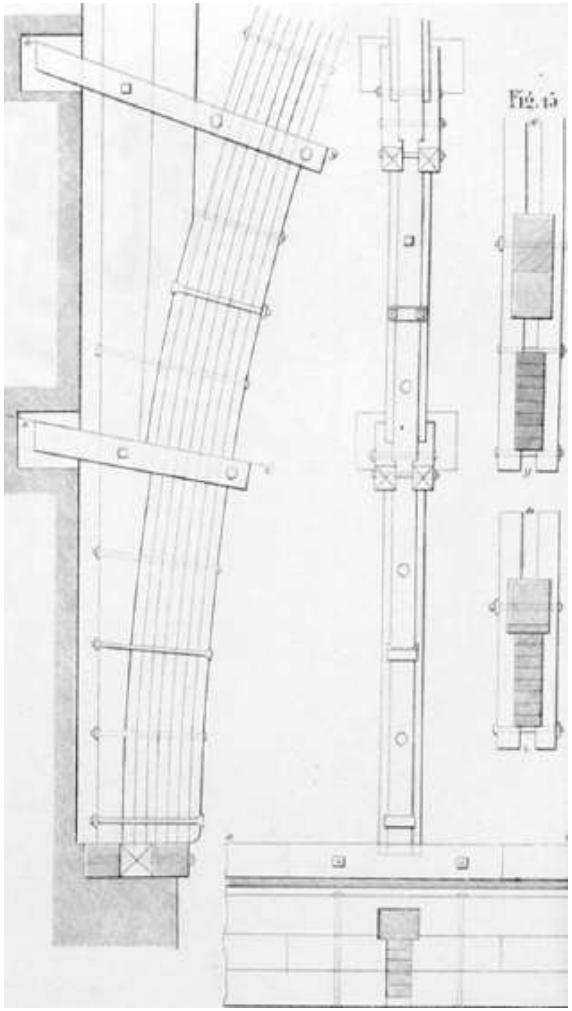
Ejemplo: Marac's barrack

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**

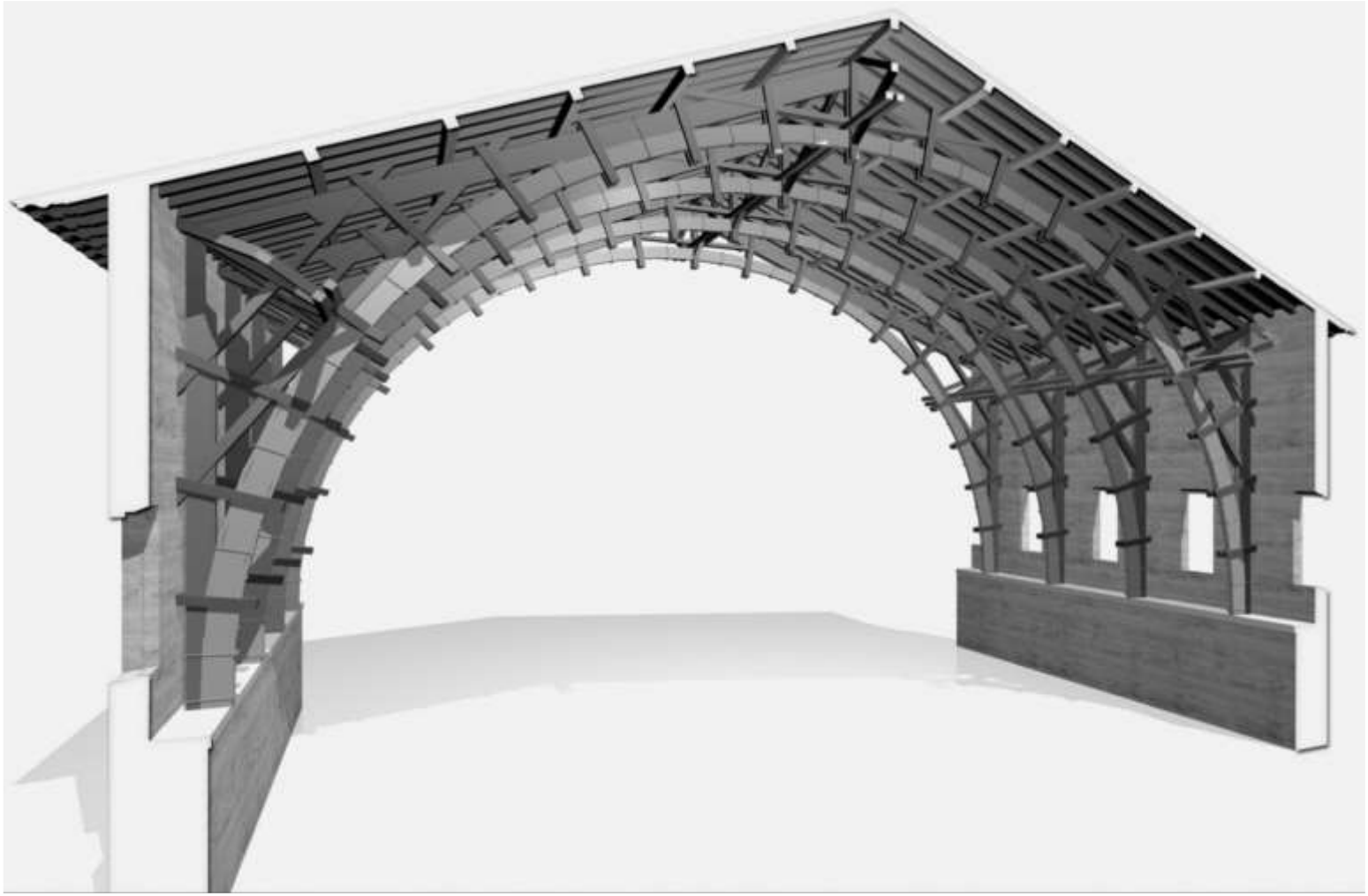


Fotografía de Bonnel, 1960

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

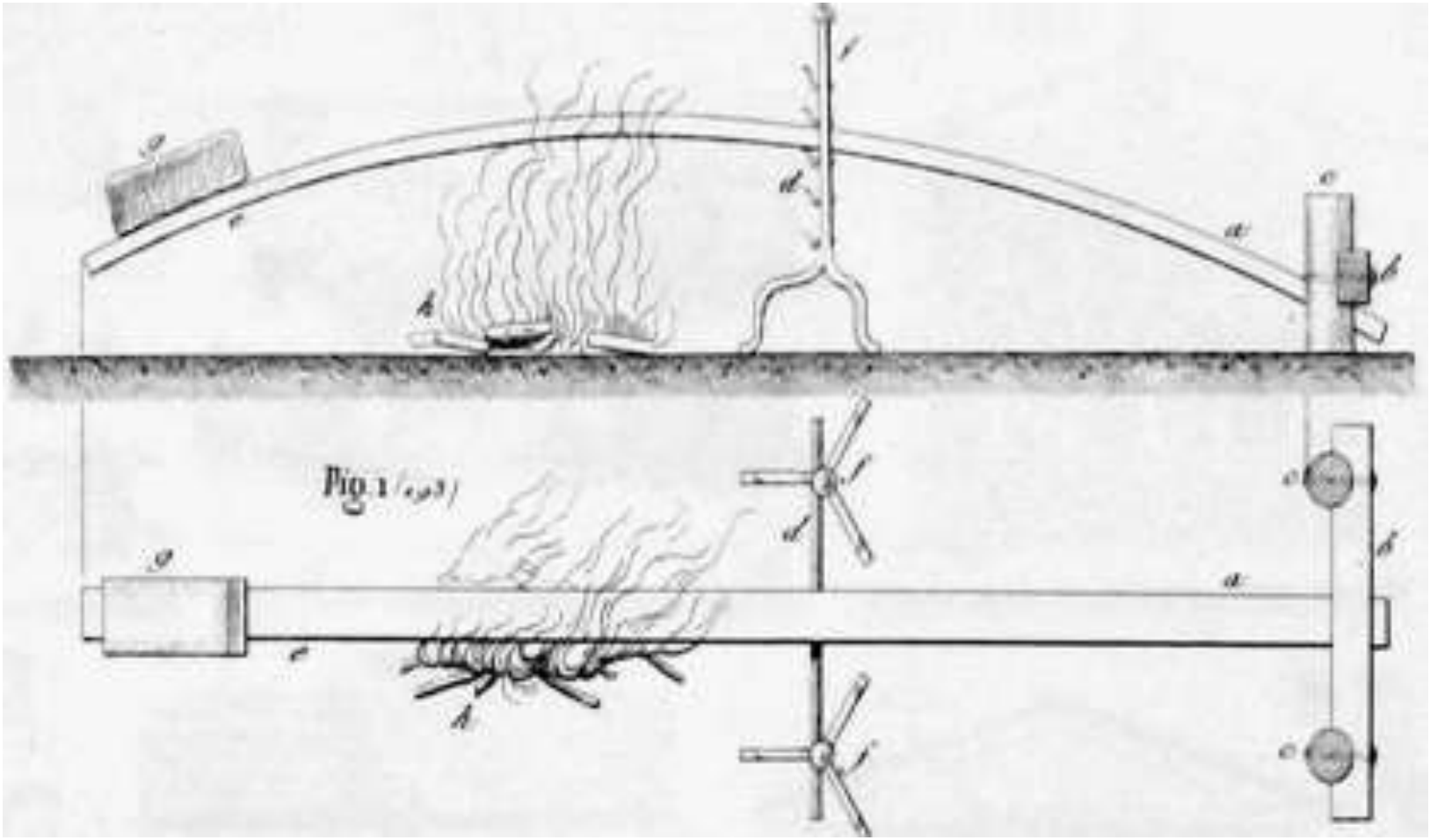


Alessandra Mongelli. " A new wood roofing system: Marac's Barracks and Colonel Armand Rose Emy's innovative system" www.arct.cam.ac.uk

ANTECEDENTES

Coronel Emy (Francia)	1771-1851	SISTEMA CONSTRUCTIVO EMY

CURVADO: el calor afecta a la lignina

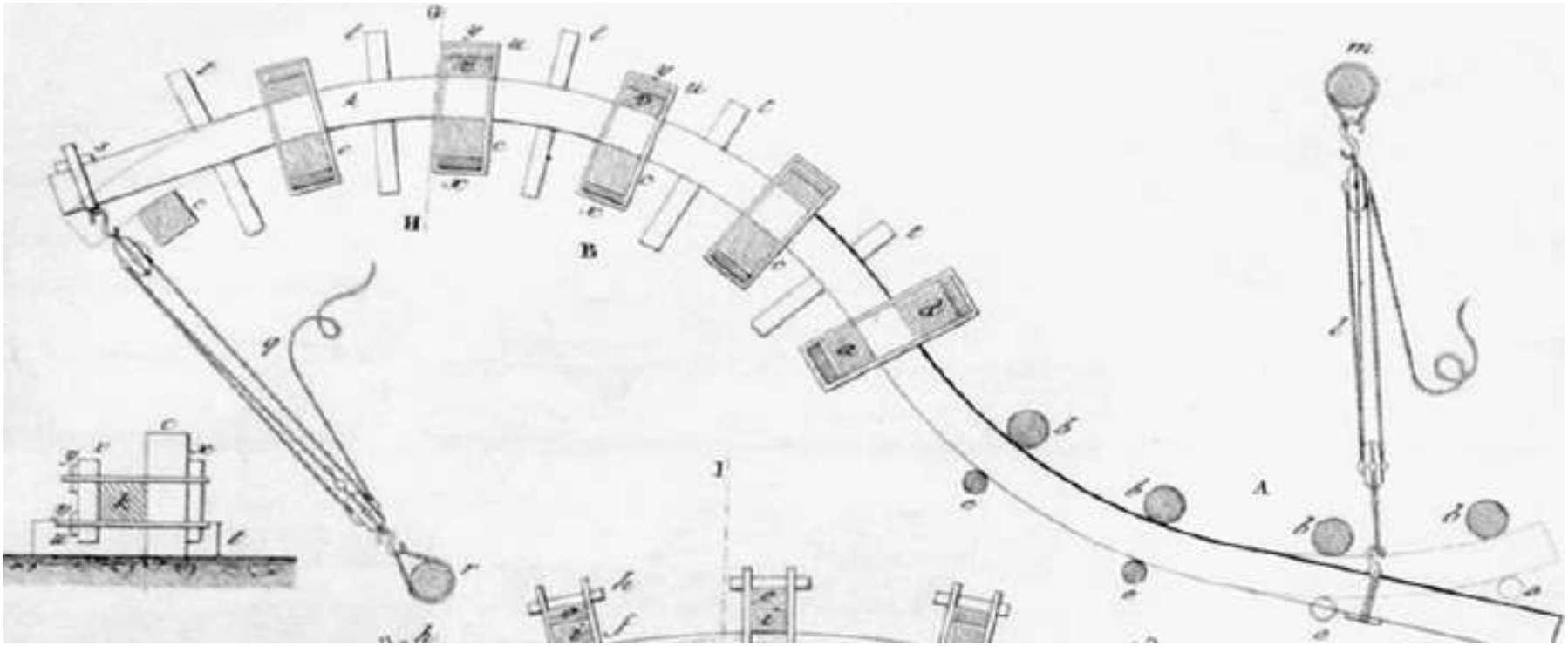


Alessandra Mongelli. " A new wood roofing system: Marac's Barracks and Colonel Armand Rose Emy's innovative system" www.arct.cam.ac.uk

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

Patente vigas rectas	1901
Patente vigas curvas	1906

www.otto-hetzer.ch

www.otto-hetzer.ch

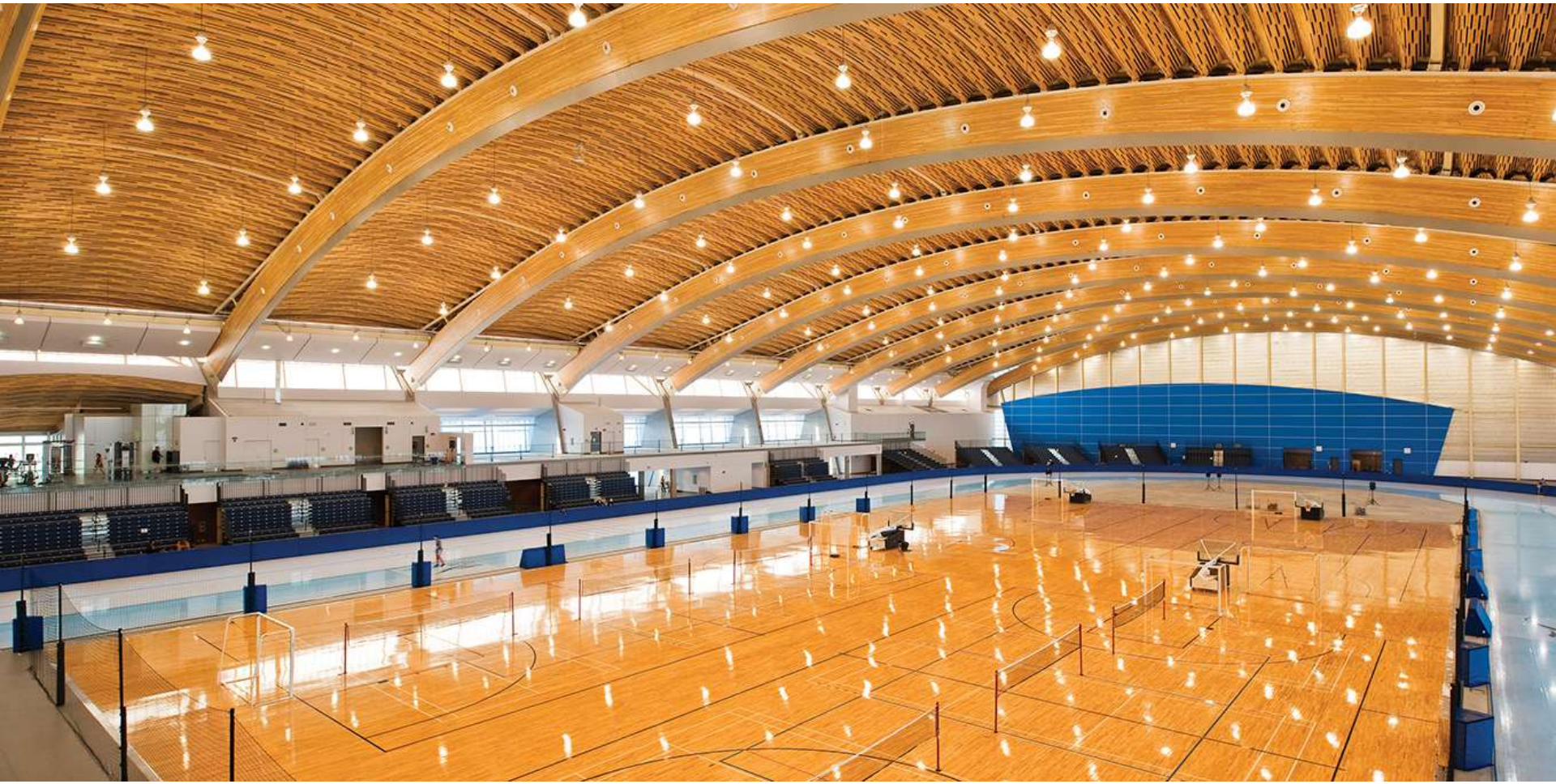
Reichseisenbahnhalle, Grand Prix bei der Weltausstellung Brüssel 1910, Spannweite 43 m

Rohbau der Turnhalle in Adliswil, Schweiz

Bergescheune in Wohlsdorf in Dreigelenkrahmen-Bauweise

AITIM, 1999. Boletín de información técnica Nº 198. "Historia de los orígenes y primeros desarrollos". www.infomadera.net

Actualidad



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

1. Definición

2. Antecedentes

3. Fabricación

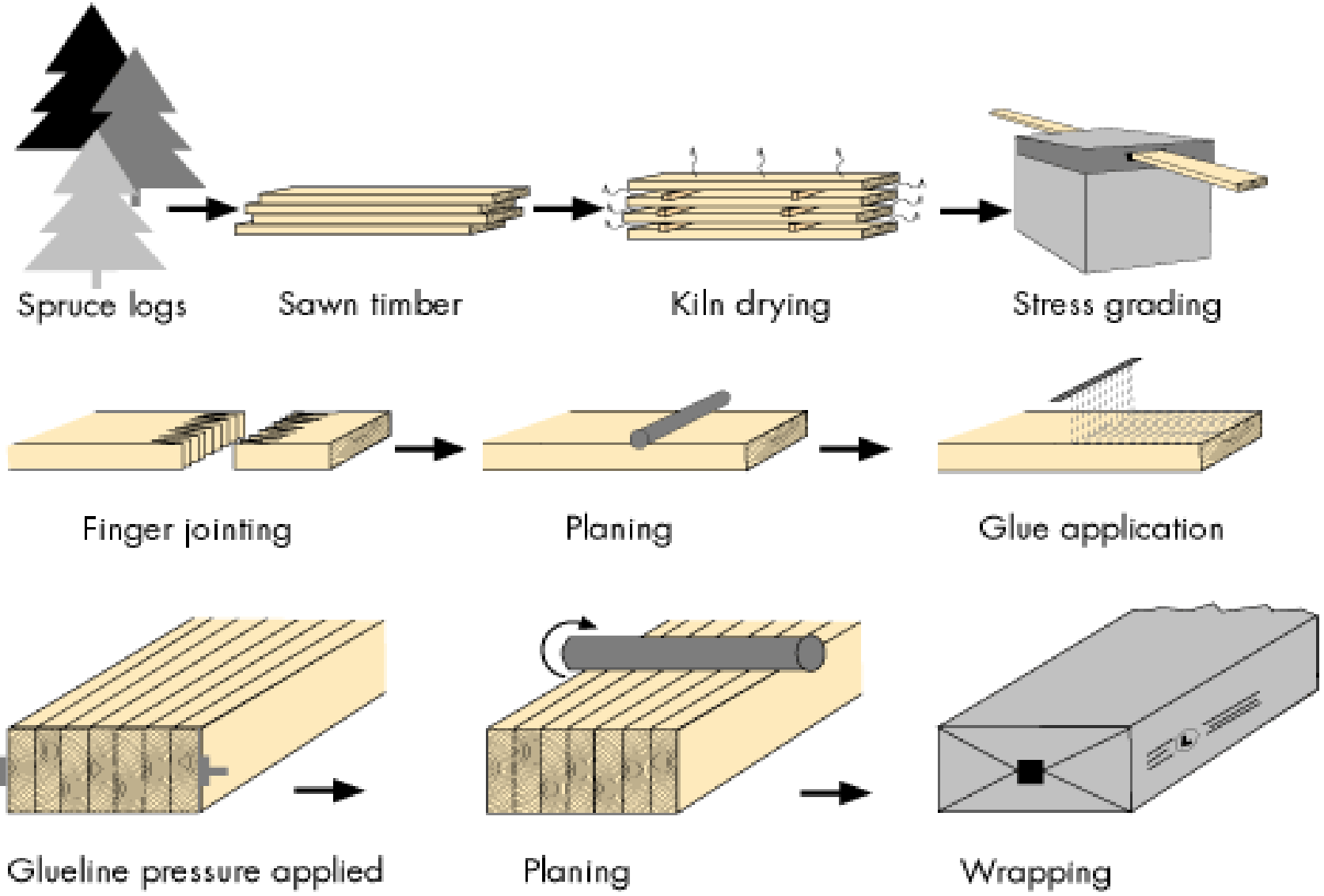
4. Dimensiones

5. Clases resistentes

6. Ensayos y control de calidad

3.4. 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. Tª LOCAL ≥ 15ºC
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.

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

LÁMINAS M.A.

1. SECADO AL AIRE

2. SECADO EN CÁMARA

CONTENIDOS DE H UMEDAD (EN 14080):

MADERA NO TRATADA: 6-15%

MADERA TRATADA: 11-18%

DIFERENCIA DE CH ENTRE 2 TABLAS < 5%

www.hijosderamonrubalsl.es

www.maderasangelsuarez.com

www.woodmizer.es

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

MADERA ASERRADA

1. SECADO AL AIRE

2. SECADO EN CÁMARA

ESPESORES DE LÁMINA (EN 14080):

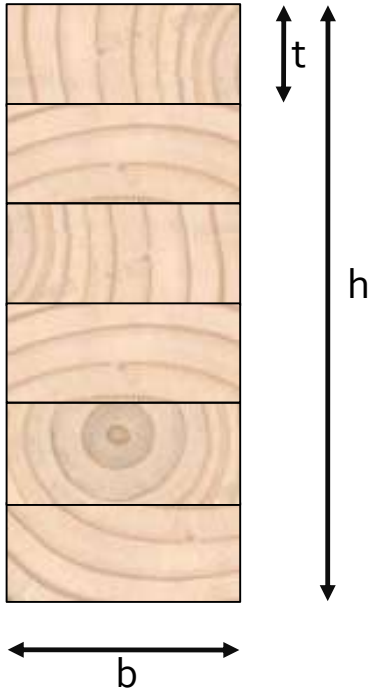


Tabla I.2 – Grosor total recomendado *t* de las láminas, en mm

	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 mm^2, 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

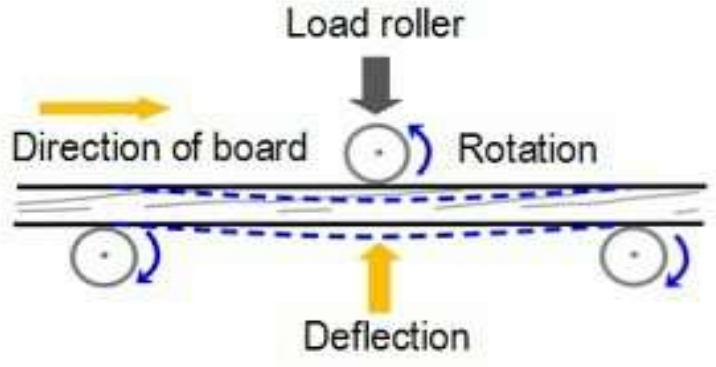
1. SECADO AL AIRE

2. SECADO EN CÁMARA

3. CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL

NORMAS POR PAÍS

EN 14081-2

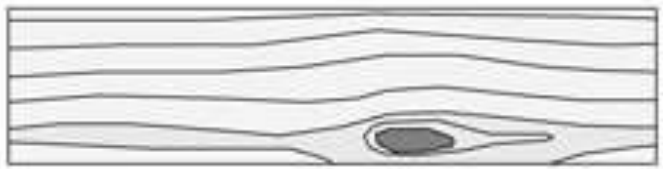


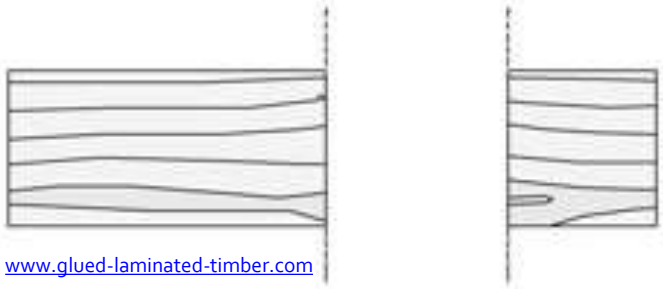
www.toolboxes.flexiblelearning.net.au

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

MADERA ASERRADA

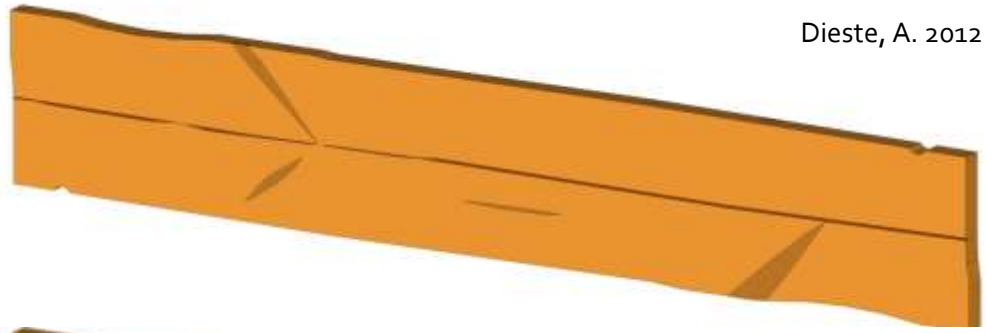
1. SECADO AL AIRE
2. SECADO EN CÁMARA
3. CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL
4. **OPTIMIZACIÓN**

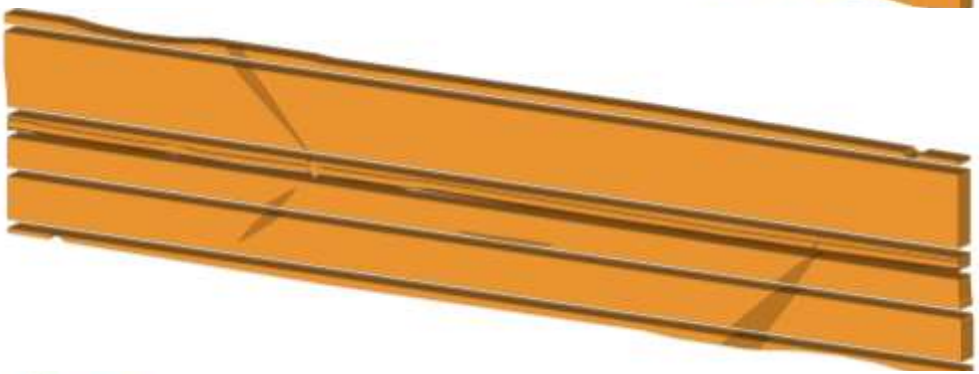


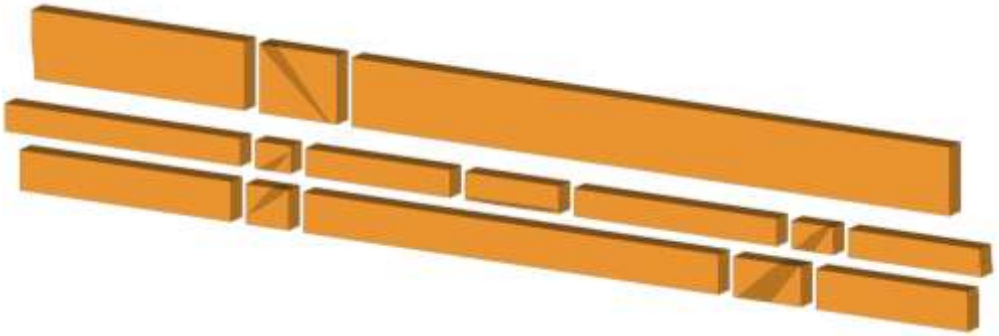


www.glued-laminated-timber.com

Dieste, A. 2012







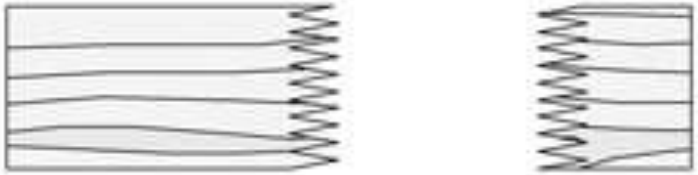
Dieste, A. 2012. "Programa de promoción de exportaciones de productos de madera". Dirección Nacional de Industrias , Energía y Minería. Consejo Sectorial Forestal-Madera.

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

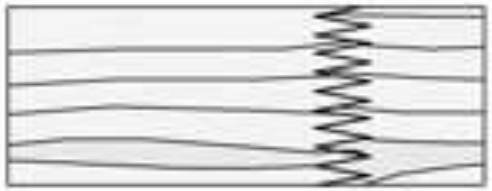
MADERA ASERRADA

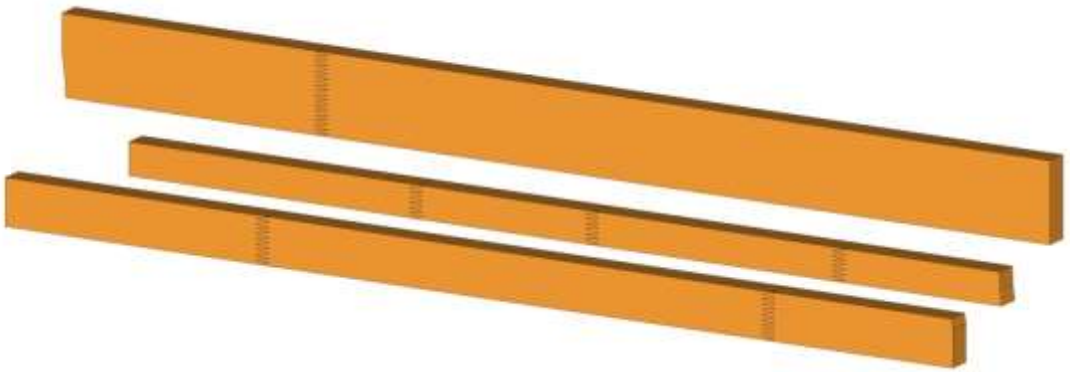
1. SECADO AL AIRE
2. SECADO EN CÁMARA
3. CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL
4. OPTIMIZACIÓN
5. **FINGER JOINT**

www.espacemedia.com



www.glued-laminated-timber.com

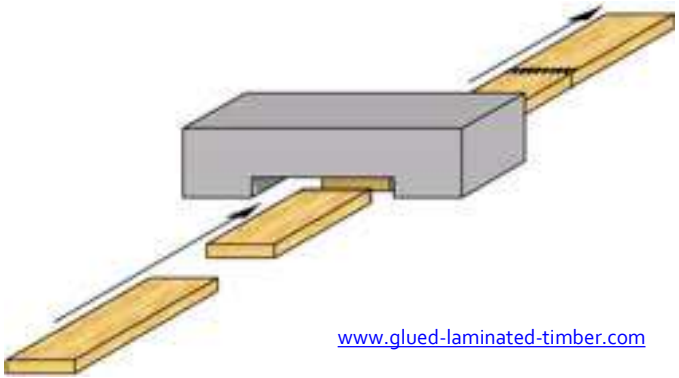




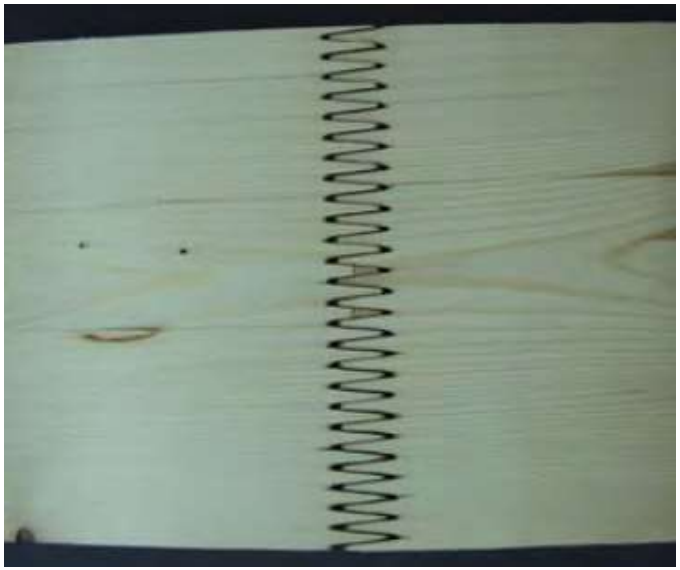
ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

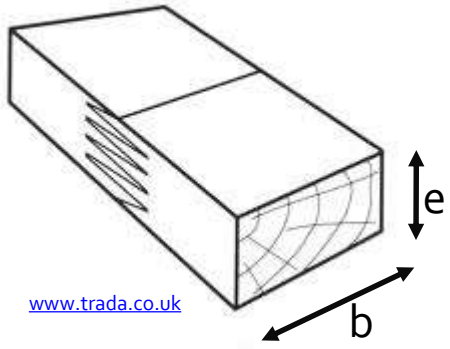
1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA



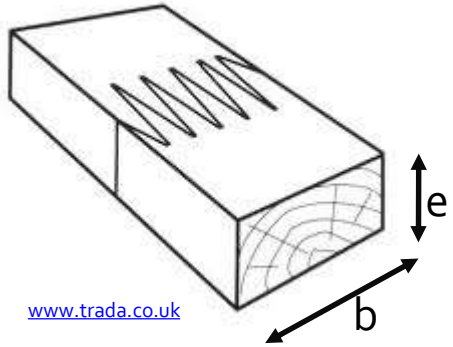
www.glued-laminated-timber.com



www.madera.fordaq.com



www.trada.co.uk

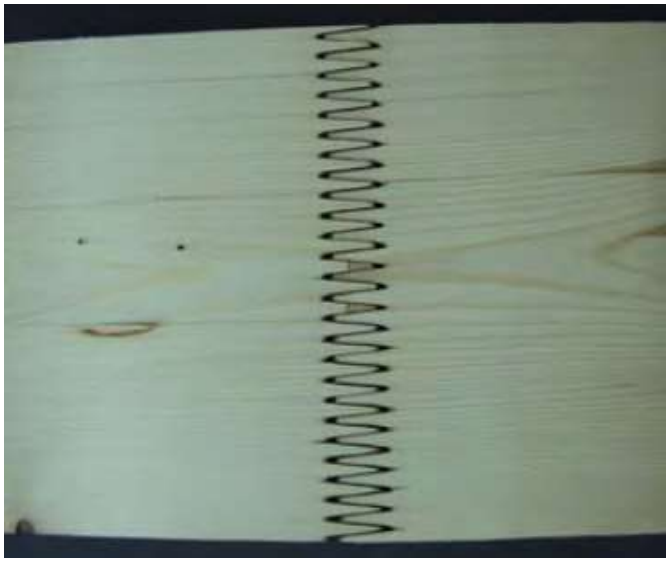


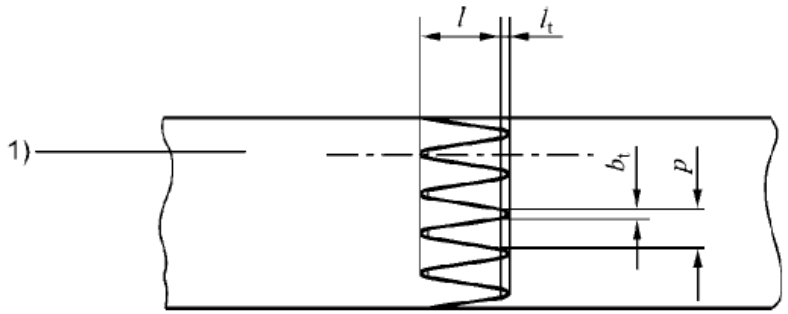
www.trada.co.uk

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA





Leyenda

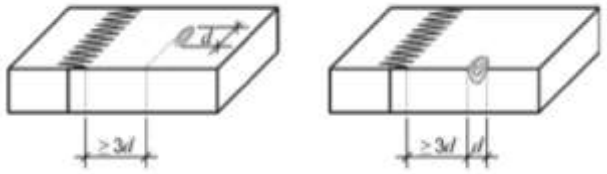
- l la longitud del diente
- p paso
- b_t anchura de la punta
- l_t holgura en la punta
- 1) Dirección simétrica

DISTANCIA LONGITUDINAL ENTRE UNIONES: 400-1200 mm

Tiempo entre mecanizado y dentado (horas)	Presión de prensado mínima (N/mm^2)	Tiempo de prensado de la unión (s)	Tª 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



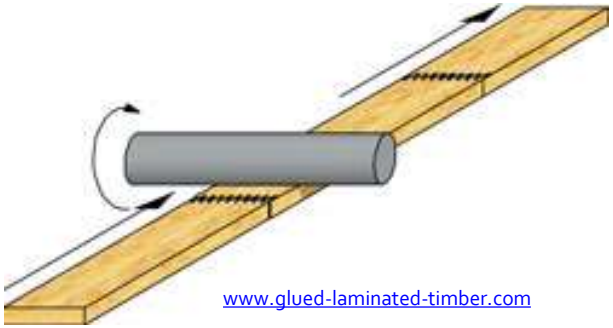
EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA

2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS



www.glued-laminated-timber.com

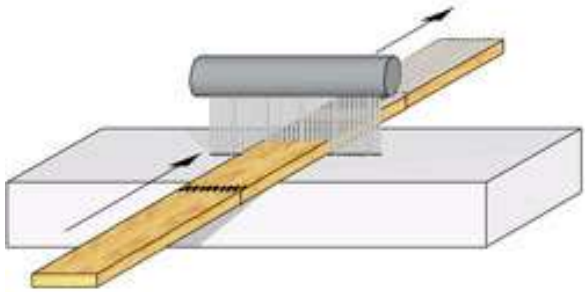
	Desviación máxima respecto al grosor medio (mm)	
Tipo de adhesivo utilizado en el encolado de las láminas	En la anchura (b)	En una longitud de lámina de 1 m
Adhesivo fenólico y aminoplástico mezclados antes de la aplicación	mín (0,0015b; 0,3)	±0,2mm
Adhesivo fenólico y aminoplástico con aplicación por separado entre cola y endurecedor		±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

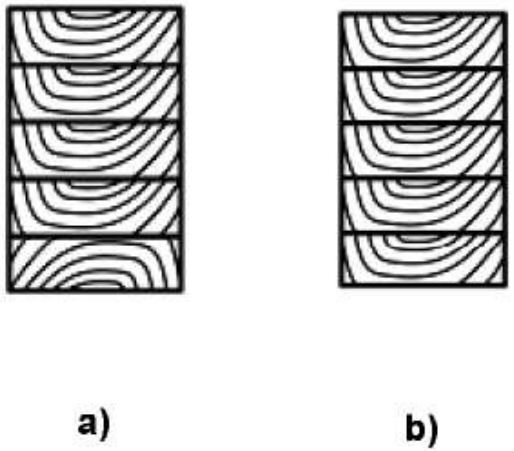
MADERA TRATADA: 6 horas

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

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

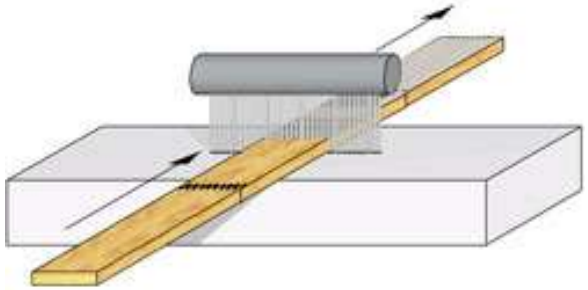
FABRICACIÓN M.L.E.

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



a) Orientación general

b) Orientación aceptada en CS 1 y 2



www.lilleheden.dk

DOSIFICACIÓN ≥ 350 g/m²

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 1 Y 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.

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 láminas 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

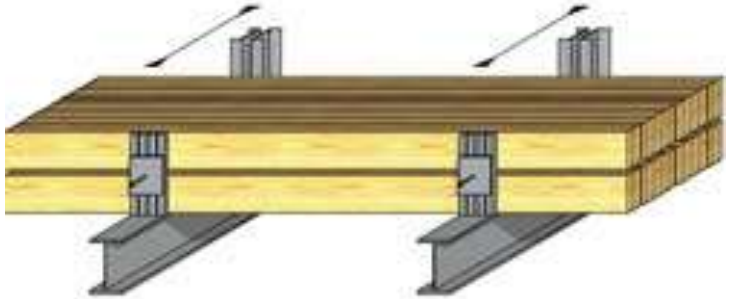
ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

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

www.proholz.at

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

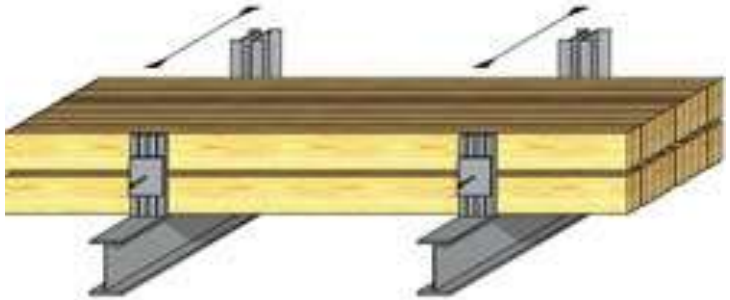


Tabla I.4 – Valores recomendados para la presión de prensado

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

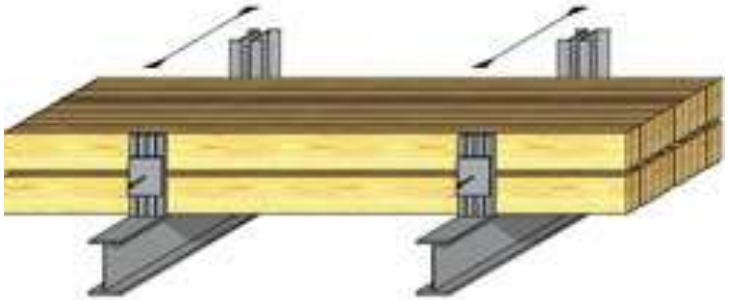
EN 14080:2013 - Anexo I. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos

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



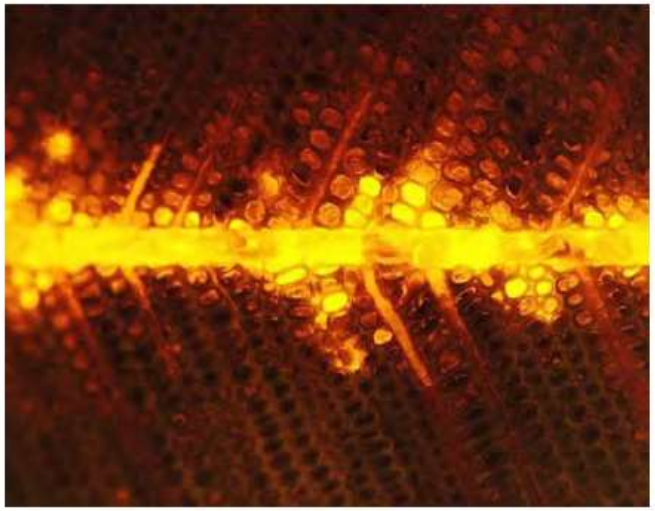


Fig. 4.1 Detail of a PUR-wood bond using fluorescence microscopy (Image by Dr. K. Richter, EMPA Dübendorf / CH, [5])

Handbook1. Timber Structures. (2008). Leonardo da Vinci Pilot Project. CZ/06/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**

CURVADO

www.glued-laminated-timber.com

www.dgi.com.au

www.neueholzbau.ch

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

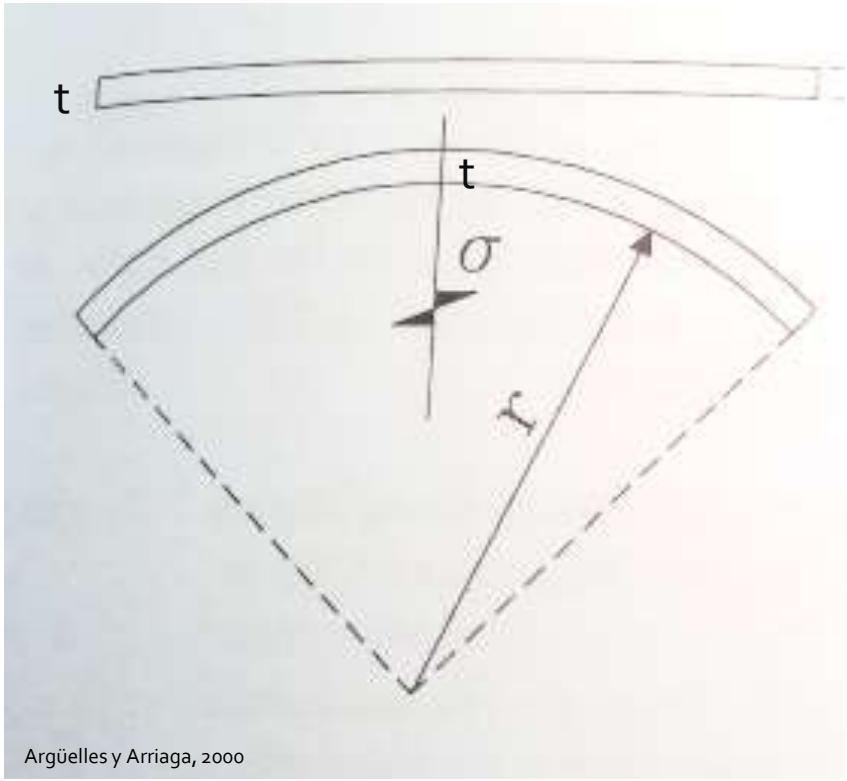
1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. **PRENSADO**

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**



Argüelles y Arriaga, 2000

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

Ejemplo:

D24: $f_{m,k}$=24N/mm²; $E_{0,m}$=10.000 N/mm²
r=6600 mm
t=33 mm

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

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

ESQUEMA PROCESO PRODUCTIVO M.L.E.

FABRICACIÓN M.L.E.

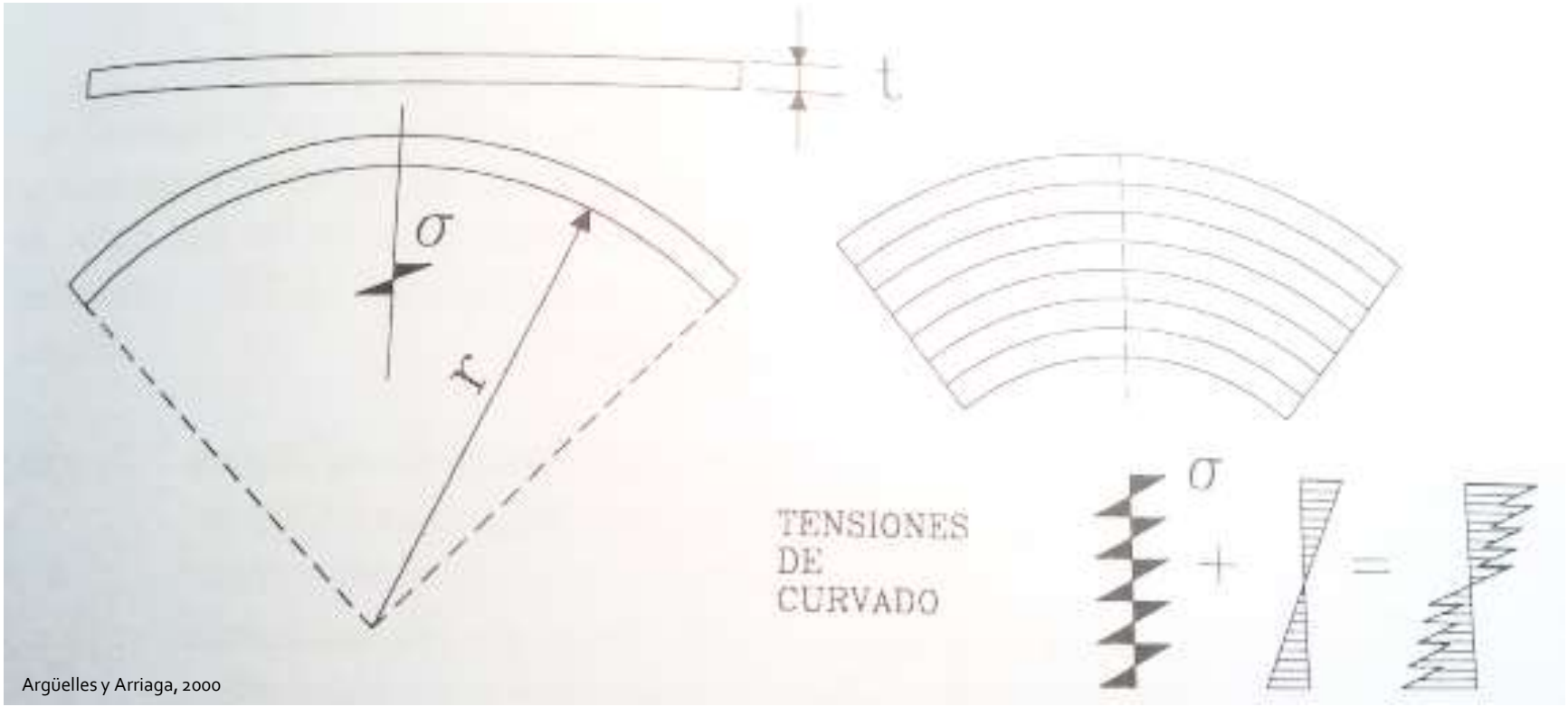
1. EMPALME POR UNIÓN DENTADA
2. CEPILLADO DE LAS LÁMINAS
3. ENCOLADO
4. **PRENSADO**

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



Argüelles y Arriaga, 2000

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

Espesor lámina

Ejemplo:

Viga MLE: láminas de clase resistente D24
r=6600 mm
t=33 mm?

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):

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

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).

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

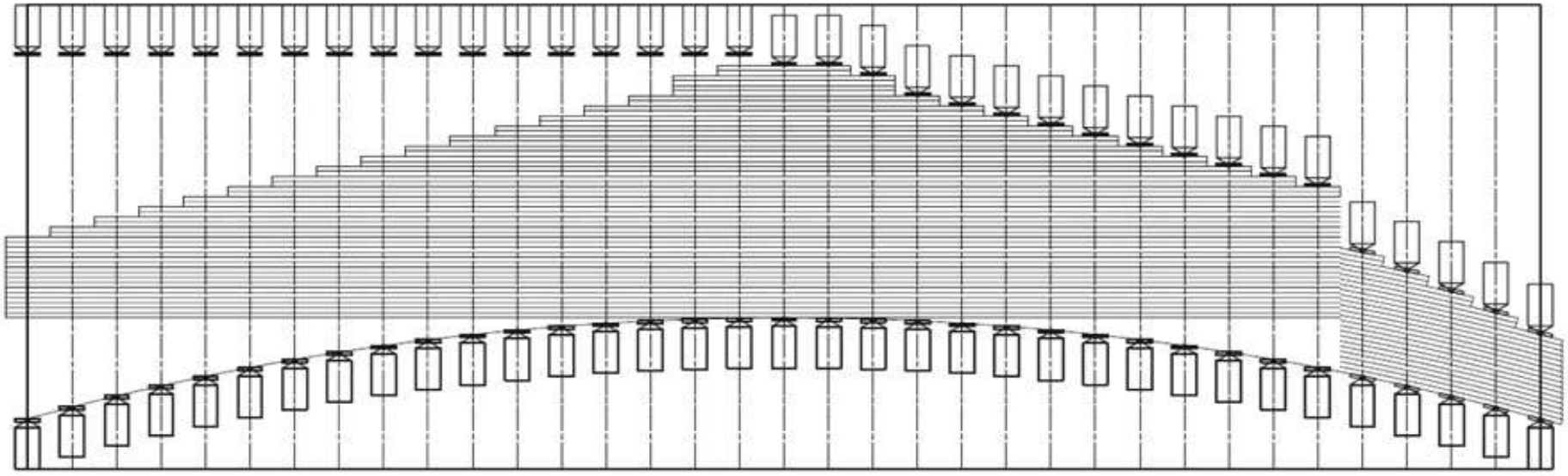
EN 14080:2013 ANEXO I. MADERA LAMINADA ENCOLADA Y MADERA MACIZA ENCOLADA. REQUISITOS

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.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:

- Tª madera: 18-25 ºC — Tª aire: >20 ºC
- Tª madera: >25 ºC — Tª aire: >15 ºC
- H.R. aire: > 30%
- Tiempo entre prensado y fraguado ≥ 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**

www.spanish.alibaba.com

www.dgi.com.au

www.unalam.blogspot.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
6. CEPILLADO
7. **ACABADOS Y ALMACENAJE**

1. Definición

2. Antecedentes

3. Fabricación

4. Dimensiones

5. Clases resistentes

6. Ensayos y control de calidad

3.4. 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

MetsäWood

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

EJEMPLO

MetsäWood

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