



Antolino Gallego Molina

MCLam BS. Un sistema estructural mixto madera-hormigón
para la reducción de la huella de carbono en la edificación

7è CONGRÉS FUSTA CONSTRUCTIVA

BARCELONA 20 / 21 NOV 2025
INSTITUT ESCOLA DEL TREBALL
C. DEL COMTE D'URGELL, 187

Organitzadors:

GREMI FUSTA I MOBLE 1257



Patrocinadors:



Col·laboradors:



Generalitat de Catalunya
Departament d'Educació
i Formació Professional

Ara és la nostra



With the contribution of the European Union's
LIFE financial instrument LIFE20 CCM/ES/001656



**LIFE WOOD
FOR FUTURE**

Recuperación de las alamedas de la Vega de Granada para la mejora de la biodiversidad y el secuestro de carbono a largo plazo en bioproductos estructurales



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

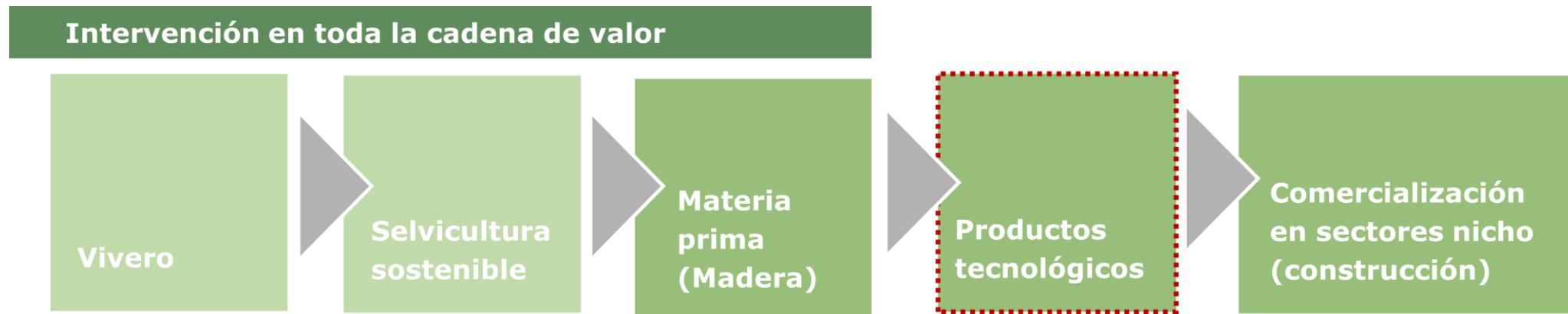
USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

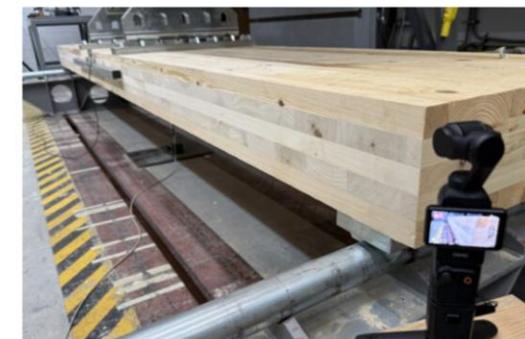
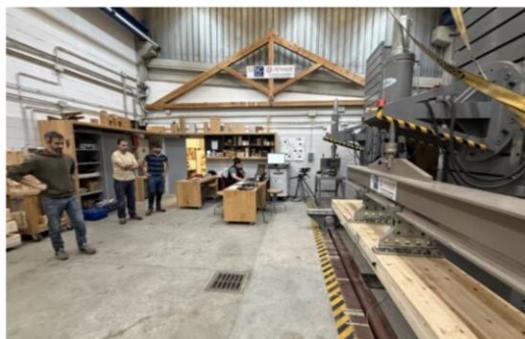
PEMADE
PLATAFORMA DE ENGENIERÍA
DA MADEIRA ESTRUTURAL

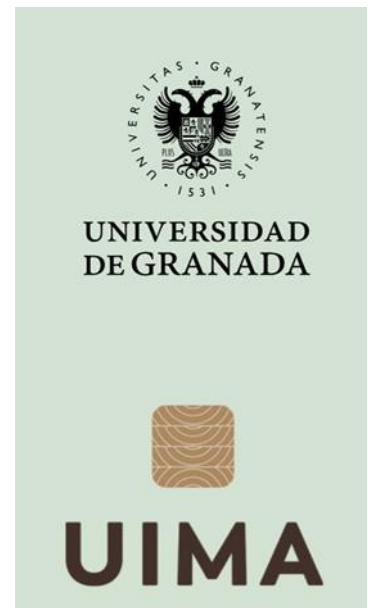
COSE
SELVICULTORES
CONFEDERACIÓN DE ORGANIZACIONES
DE SERVICIOS DE ESPAÑA

G Diputación
de Granada
Avanzamos juntos

 3edata







CARACTERIZACIÓN MADERA

Chopo

- Clones MC /Luisa Avanzo

Caracterización del chopo (clones MC y Luisa Avanzo) para uso estructural, en árbol en pie y en tabla aserrada, asignando una clase resistente T (tracción) que permita su uso en productos laminados estructurales.

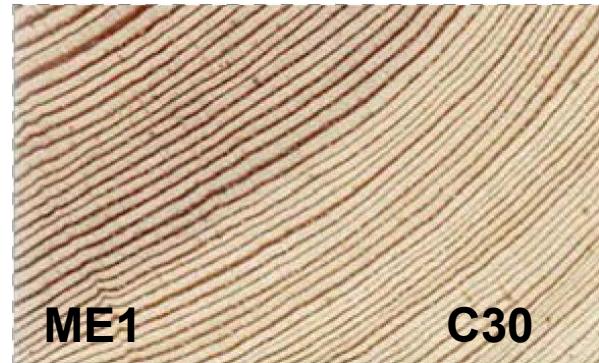
Introducción en norma UNE 56546 “Clasificación visual de frondosas” y en la EN 1912 “Procedencias según normas de clasificación”

Sección tabla 50x30



Chopo

nº anillos:
≈ 3



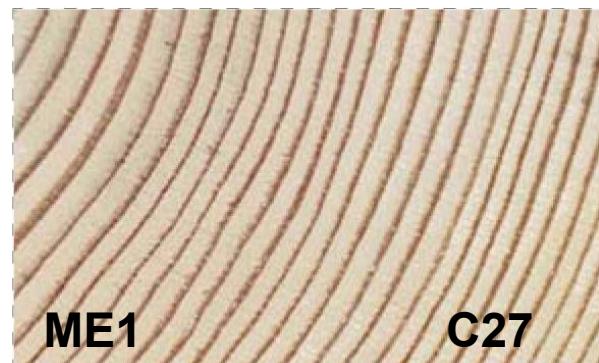
Pino
laricio

nº anillos:
≈ 56



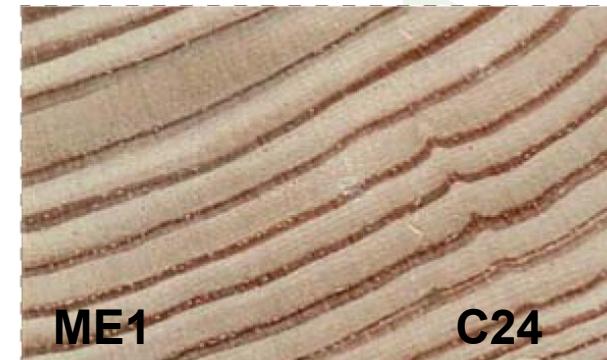
Pino
radiata

nº anillos:
≈ 9



Pino
silvestre

nº anillos:
≈ 27



Pino
pinaster

nº anillos:
≈ 13

CARACTERIZACIÓN MADERA

Chopo

- Clones MC /Luisa Avanzo

Caracterización del chopo (clones MC y Luisa Avanzo) para uso estructural, en árbol en pie y en tabla aserrada, asignando una clase resistente T (tracción) que permita su uso en productos laminados estructurales.

Introducción en norma UNE 56546 “Clasificación visual de frondosas” y en la EN 1912 “Procedencias según normas de clasificación”

El ensayo de tracción mide directamente la propiedad más “débil” de la madera en la dirección paralela, lo que nos da resultados más directos para productos estructurales como la madera laminada o el CLT.

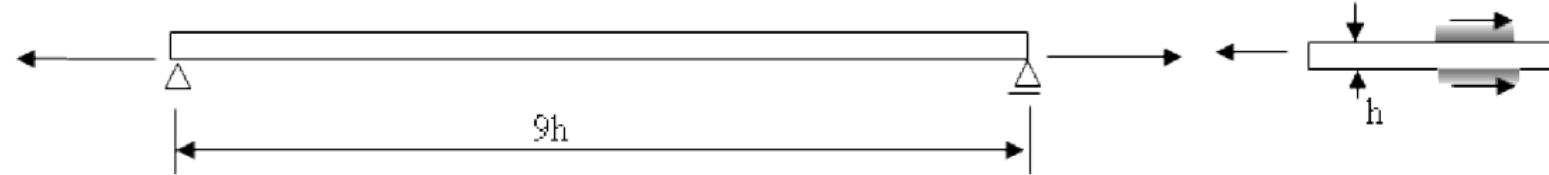
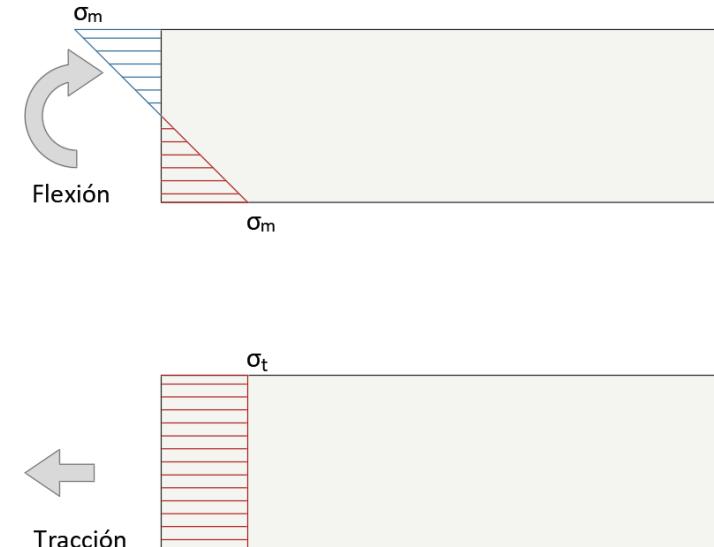


Figura 10 – Disposición en el ensayo de tracción paralela a la fibra



CARACTERIZACIÓN MADERA

Chopo canadiense. UNE 56546

(Clones MC y Luisa Avanzo)

- Resistencia a tracción:

$$f_t = 10.9 \text{ N/mm}^2$$

- Módulo de elasticidad

$$E_{t,mean} = 8534 \text{ N/mm}^2$$

- Densidad característica

$$\rho_k = 340 \text{ kg/m}^3$$

CARACTERIZACIÓN MADERA

Chopo

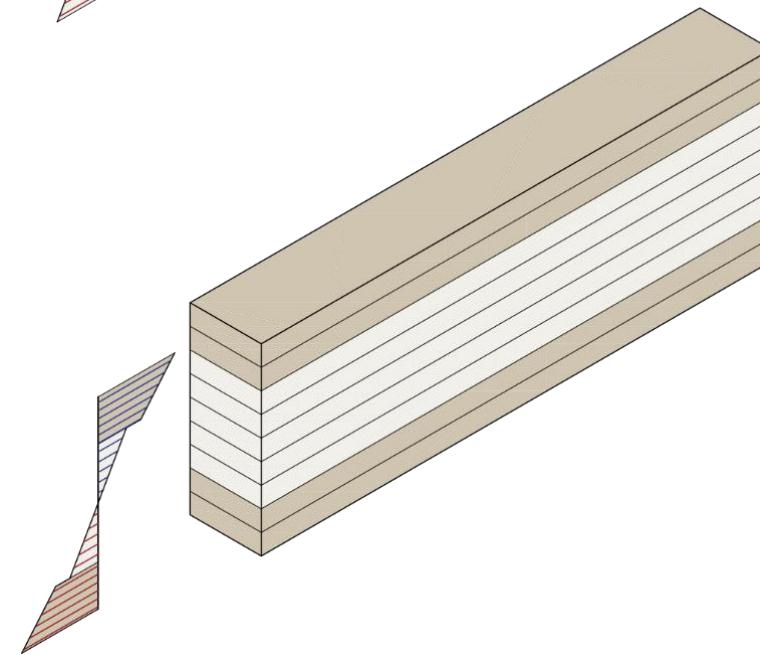
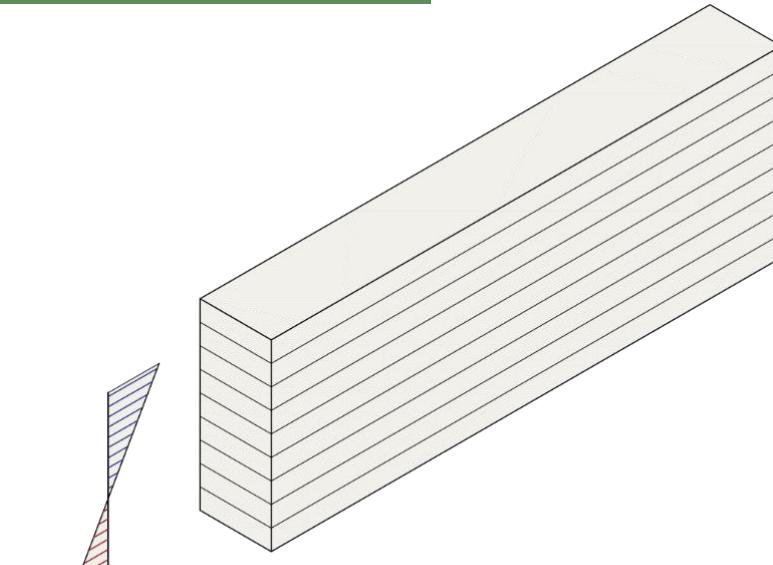
T10*

	Clase	T 8	T 9	T 10	T 11	T 12
Propiedades de resistencia en N/mm²						
Flexión	$f_{m,k}$	13,5	14,5	16	17	18
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	8	9	10	11	12
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	16	17	17	18	19
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3
Cortante	$f_{v,k}$	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
Propiedades de rigidez en kN/mm²						
Módulo de elasticidad medio en flexión paralela a la fibra	$E_{t,0,mean}$	7,0	7,5	8,0	9,0	9,5
Módulo de elasticidad característico en flexión paralela a la fibra (5% percentil)	$E_{t,0,k}$	4,7	5,0	5,4	6,0	6,4
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{t,90,mean}$	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32
Módulo de cortante medio	G_{mean}	0,44	0,47	0,50	0,56	0,59
Densidad en kg/m³						
Densidad característica (5% percentil)	ρ_k	290	300	310	320	330
Densidad media	ρ_{mean}	350	360	370	380	400

Norma EN 1912 "Procedencias según normas de clasificación"

Productos estructurales. MCLam

- Viga homogénea (chopo)
- Viga combinada (chopo y pino)



MCLam
[Homogénea chopo]

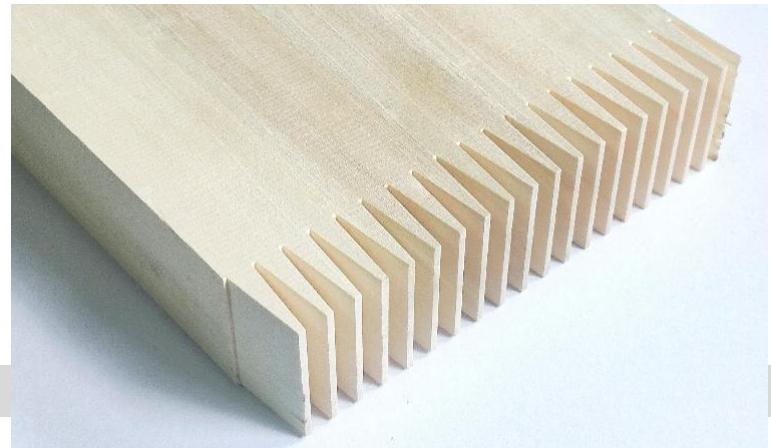
UNE EN 14080:



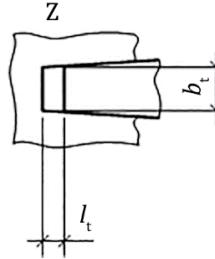
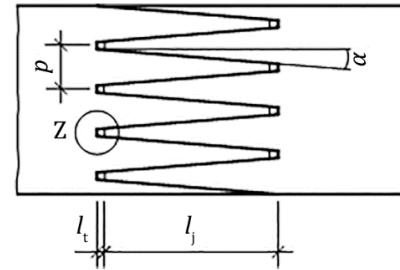
Tabla 3 - Combinaciones de láminas de madera laminada encolada homogénea y valores mínimos de resistencia a flexión de los empalmes por unión dentada de las láminas en N/mm²

Clase resistente de la madera laminada encolada	Clase resistente de las láminas	$f_{m,j,k}$
GL 20h	T10	25
GL 20h	T11	22
GL 22h	T13	25
GL 24h	T14	30
GL 26h	T16	33
GL 28h	T18	36
GL 30h	T21	38
GL 30h	T22	37
GL 32h	T24	41
GL 32h	T26	38

MCLam Finger-joint

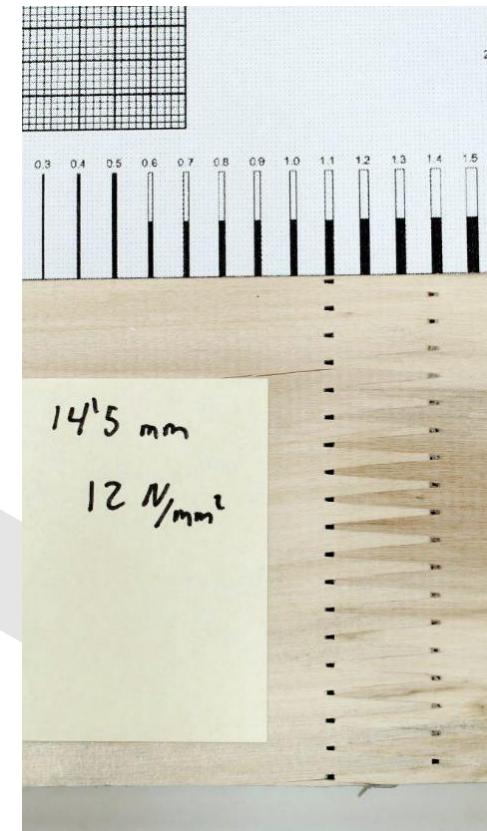
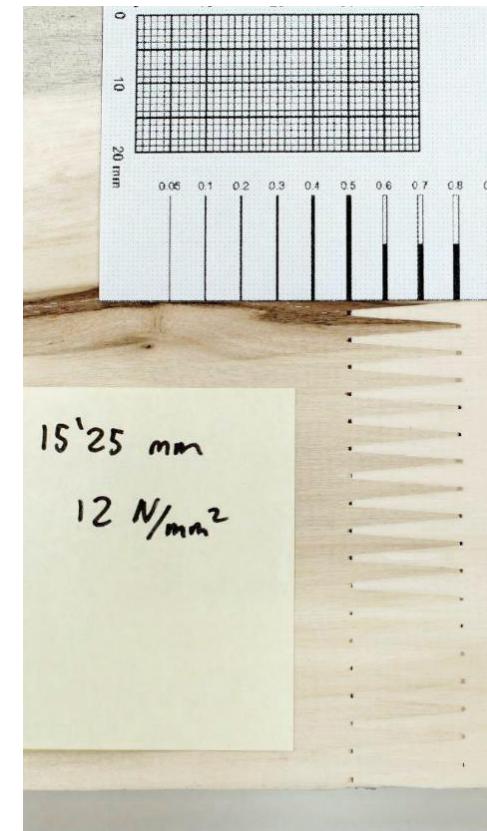
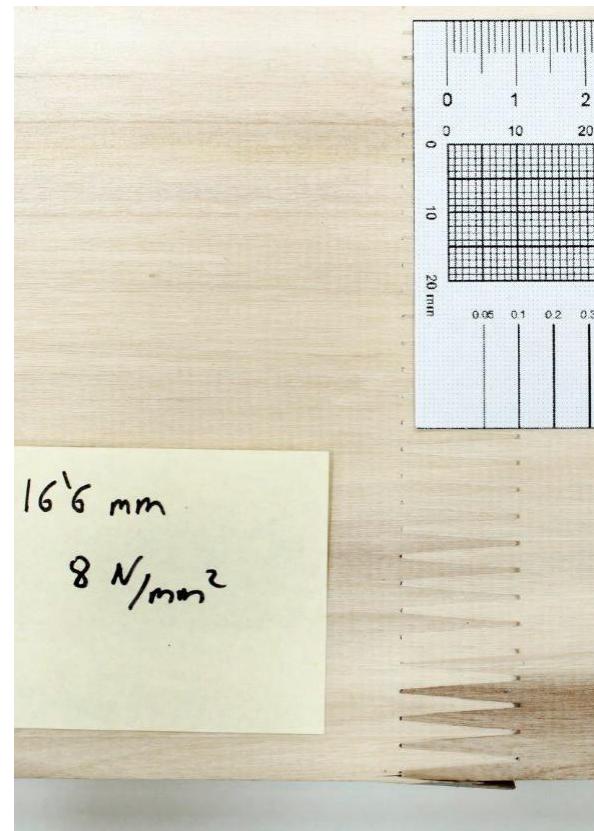


Pruebas de geometría y presión:



Leyenda

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



Holgura del dentado

$$e = l_t/l_j$$

$$0.01 \leq e \leq 0.08$$

Diente 15mm

$$0.15\text{mm} \leq l_j \leq 1.2\text{mm}$$

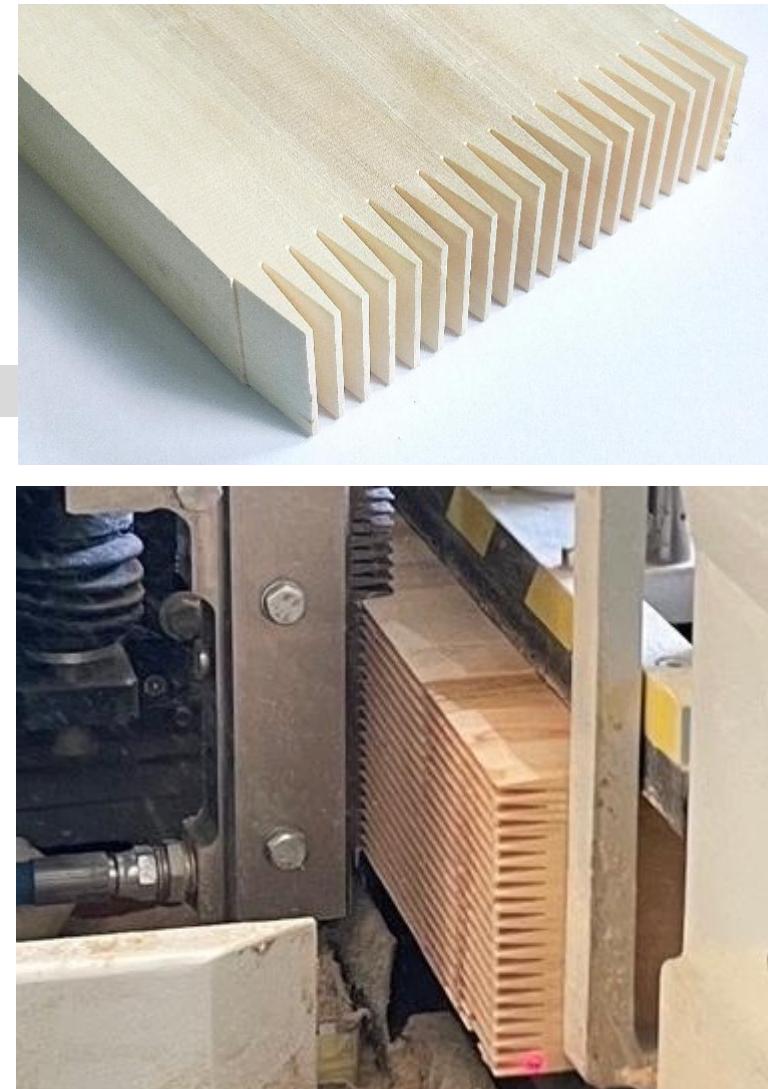
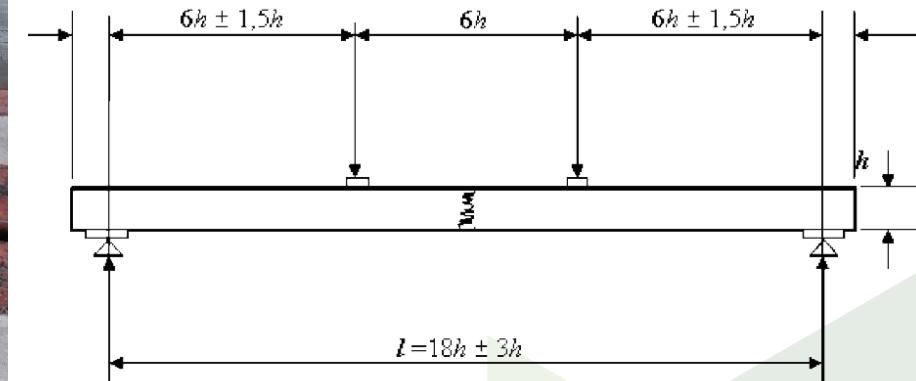
Proceso de certificación. [Ensayo inicial de tipo]

- Ensayos unión dentada flexión

Valor característico UNE-EN 14358

Especie	$f_{m,j,k}$ [N/mm ²]	\bar{y}	S_y	n	$k_s(n)$
Chopo	33.22	3.81	0.17	31	1.858

≥ 25 N/mm²

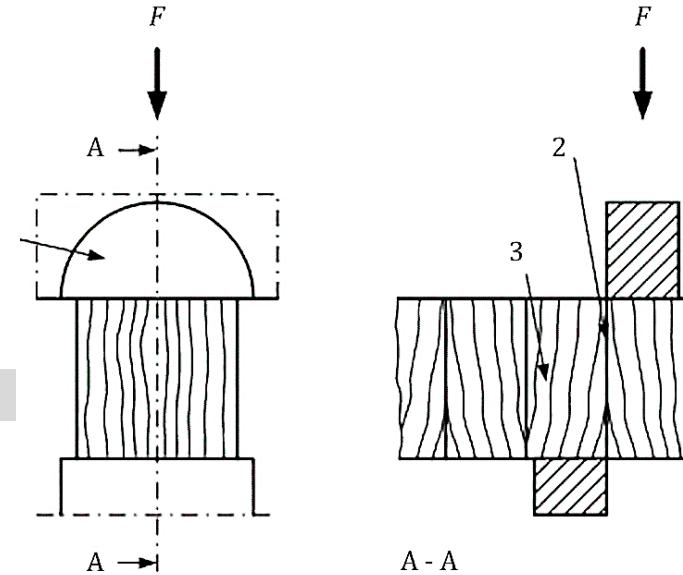


MCLam Encolado de cara



Proceso de certificación. [Ensayo inicial de tipo]

- Ensayo cortante línea de cola



MCLam Encolado de cara



Proceso de certificación. [Ensayo inicial de tipo]

- Ensayo delaminación

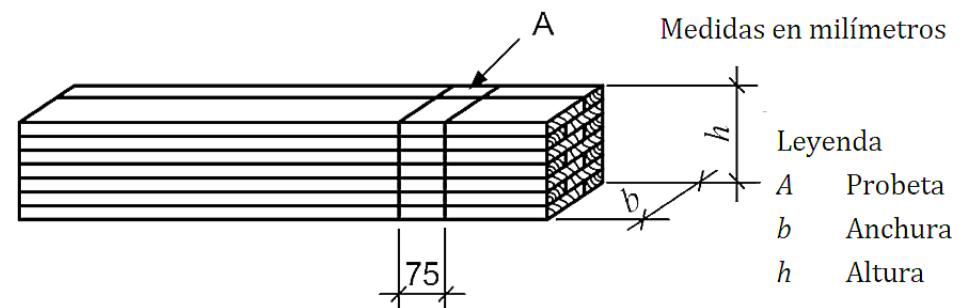


Figura C.1 - Probeta extraída de la pieza de madera laminada
encolada con un ancho b de más de 300 mm

MCLam
[Combinada pino - chopo]

UNE EN 14080

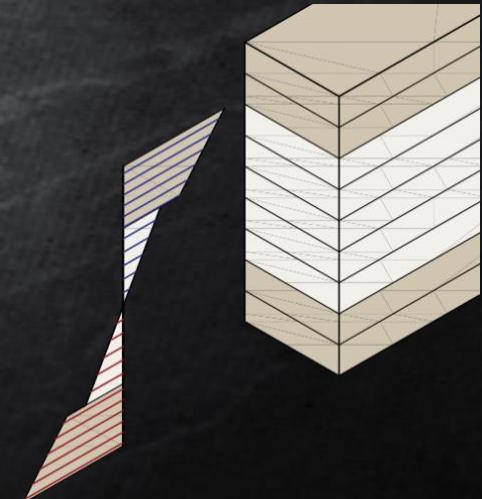
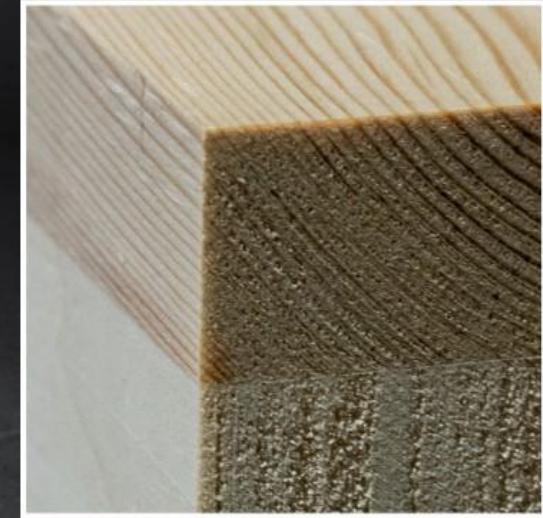
5.5.2 Especies de madera

“El producto de madera laminada
encolada debe incluir una sola especie
de madera”



Nuevo EAD:

“Glued laminated timber made of
poplar and softwood”



MCLam [Combinada pino - chopo]

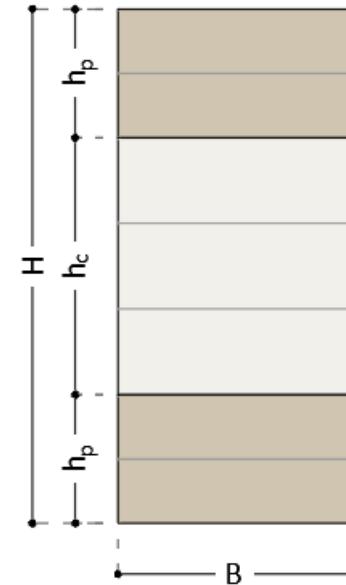
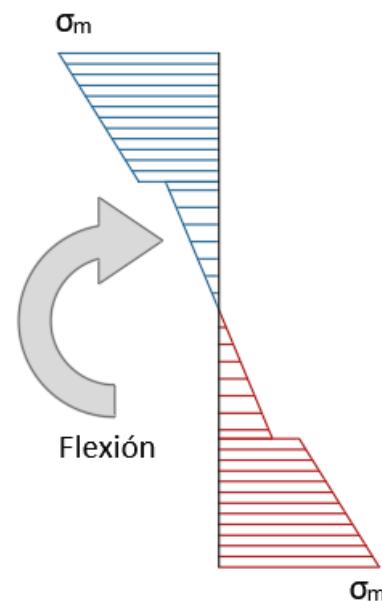
Mejora en relación solo chopo:

≈ 48% chopo

≈ 52% Pino laricio

Incremento de resistencia: ≈ 45%

Incremento de rigidez: ≈
44%

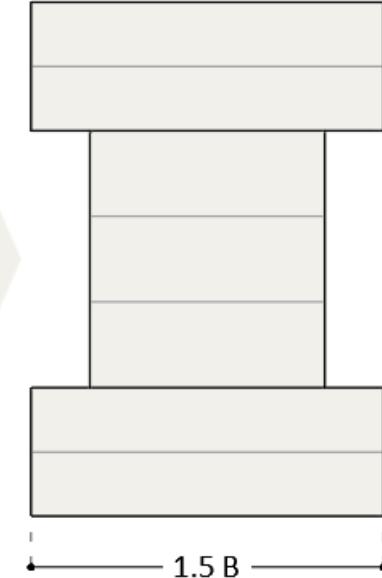


P Laricio (C30)
E 12600 N/mm²

Chopo (T10)
E 8400 N/mm²

$$n = \frac{12600}{8400} = 1.5$$

P Laricio (C30)
E 12600 N/mm²



GL20h → GL26c



MCLam [Combinada pino - chopo]

Mejora en relación solo chopo:

≈ 70% chopo

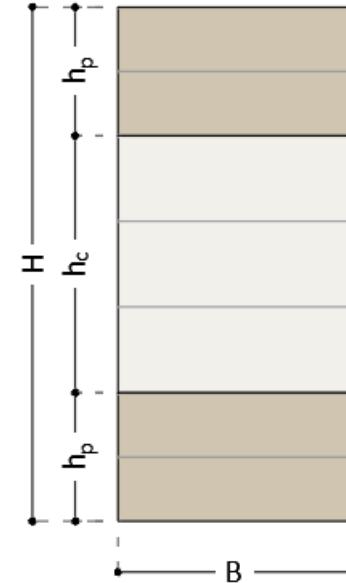
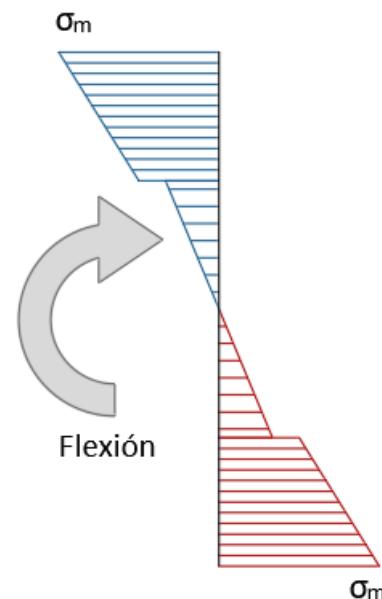
≈ 30% Pino laricio

Incremento de resistencia: ≈ 32%

Incremento de rigidez: ≈
33%



GL20h → GL24c

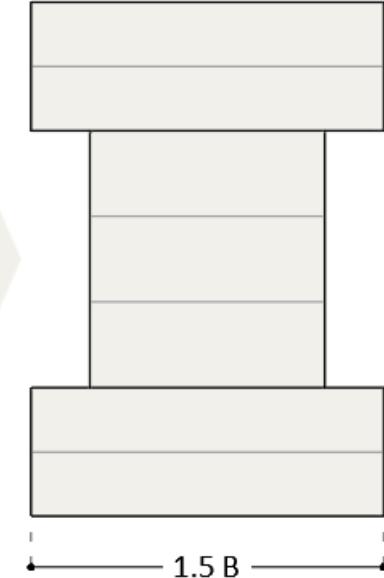


P Laricio (C30)
E 12600 N/mm²

Chopo (T10)
E 8400 N/mm²

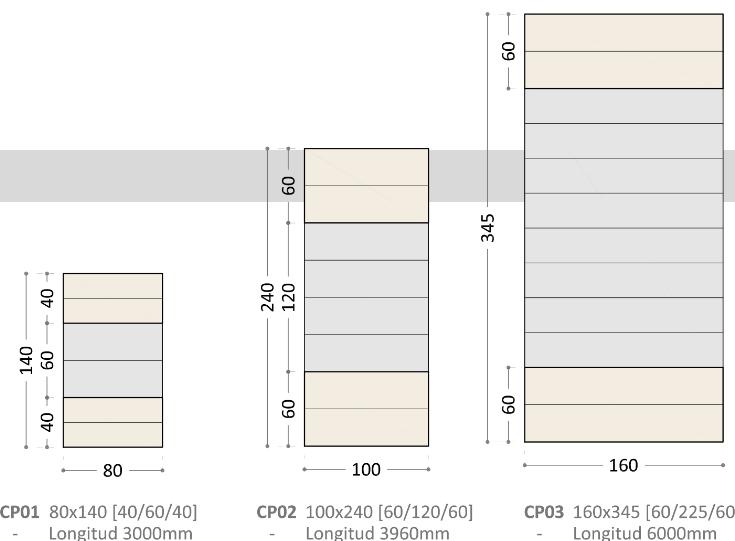
$$n = \frac{12600}{8400} = 1.5$$

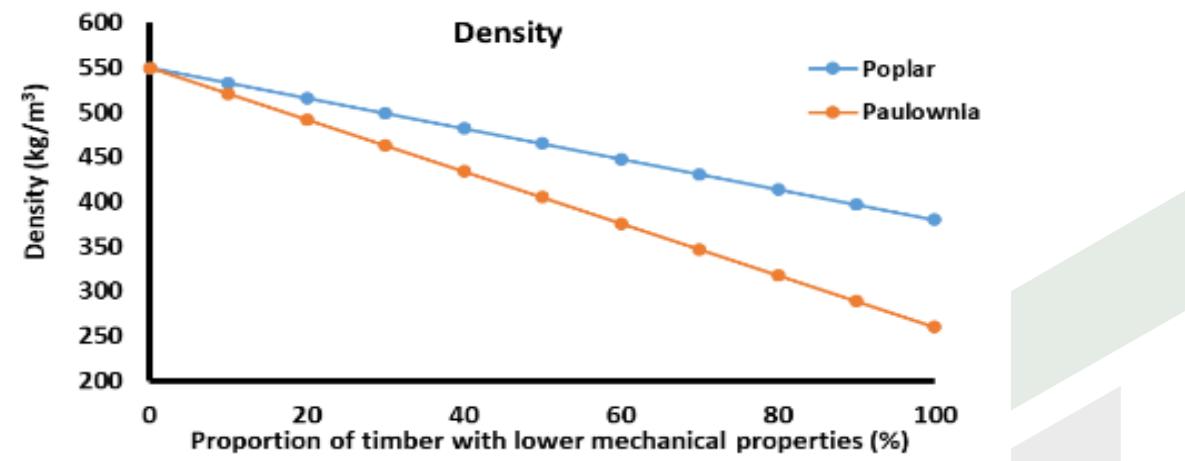
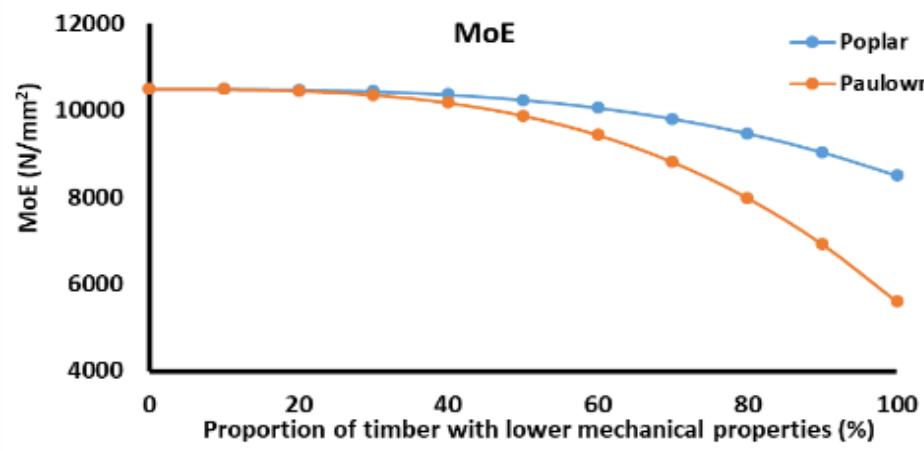
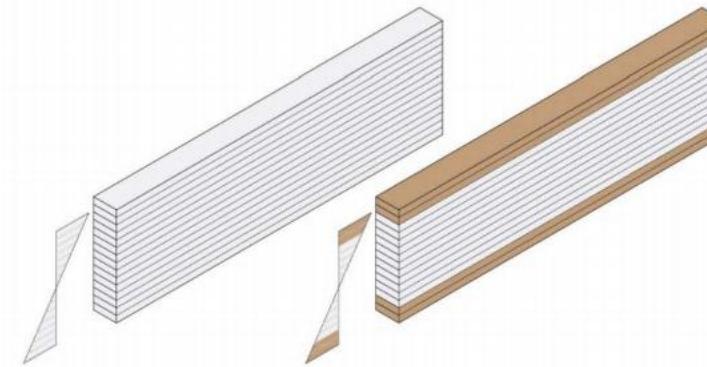
P Laricio (C30)
E 12600 N/mm²



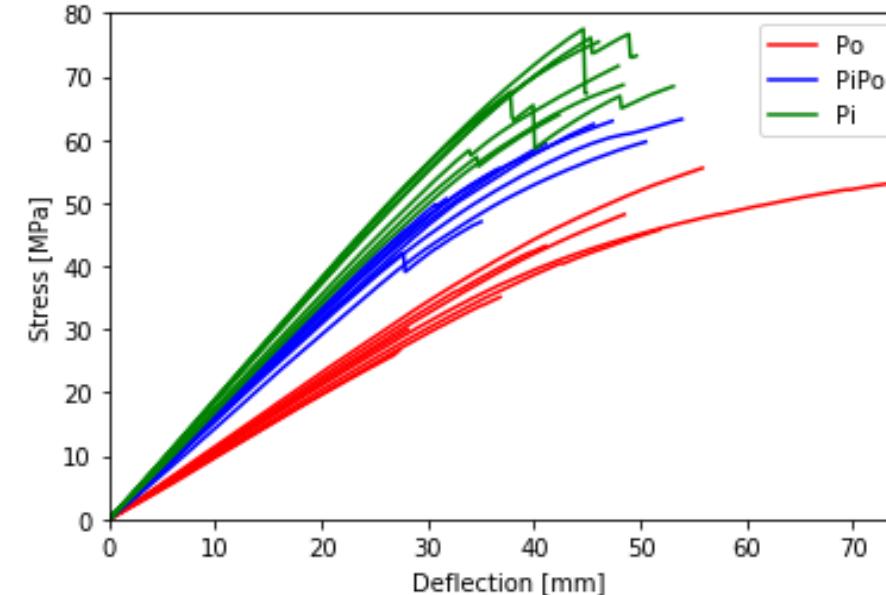
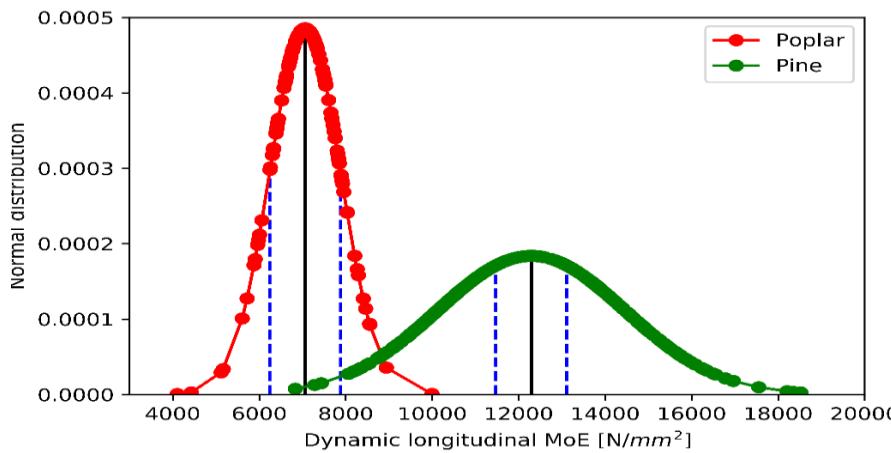
Ensayo validación

Evaluación mediante ensayos
mecánicos de uniones *en finger
joint* y vigas

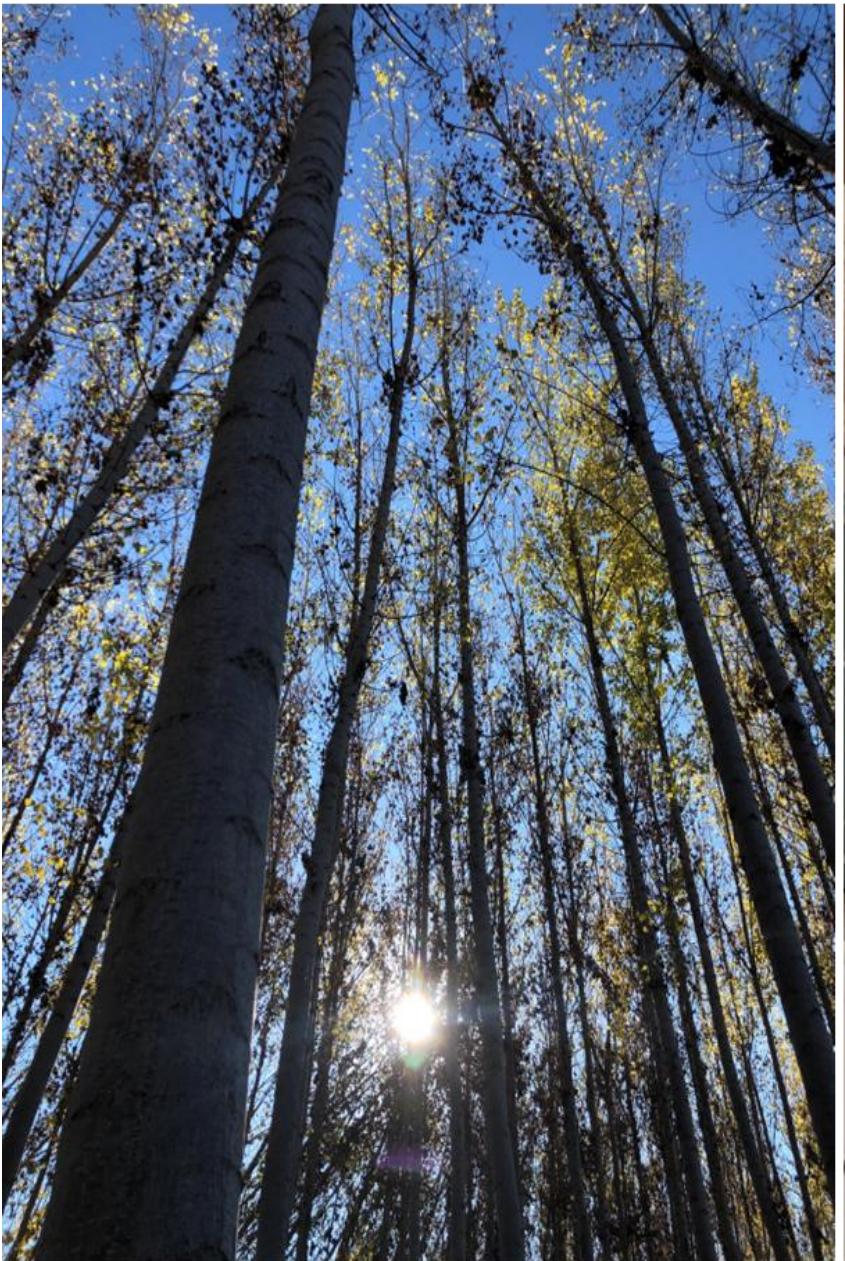




Ensayos a Flexión



Tipo	MoE (MPa)
Chopo	8.478
Pino	15.206
Chopo-Pino	13.057





DEMOSTRATIVOS VIVIENDA UNIFAMILIAR

OGIJARES (GRANADA)

Bonsai Arquitectos





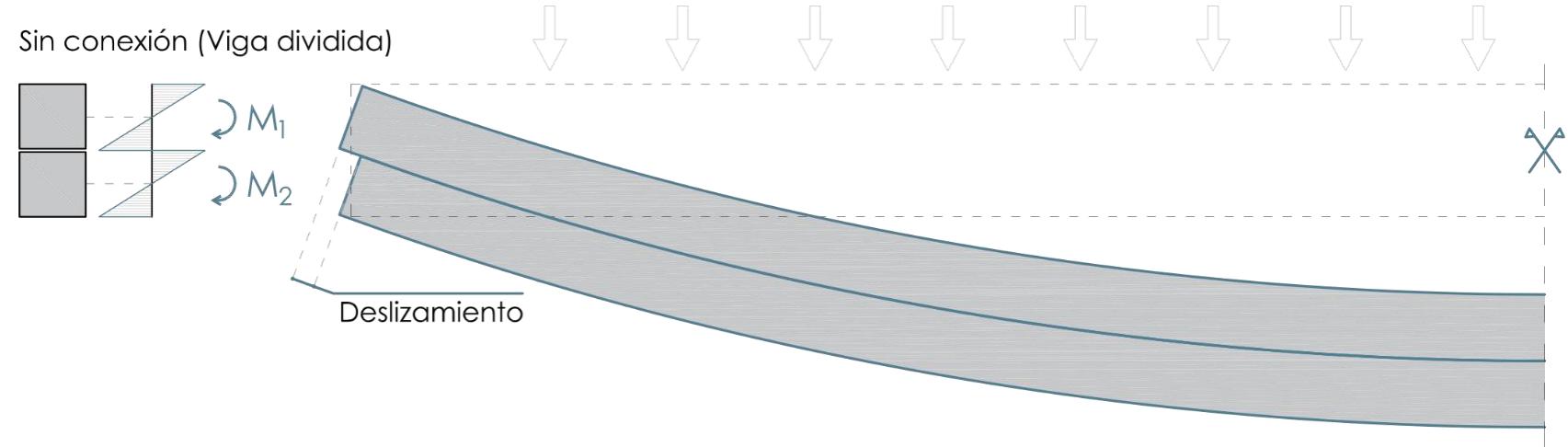
MCLam BS.

Concepto sección conectada

Ejemplo refuerzo
con sección idéntica:

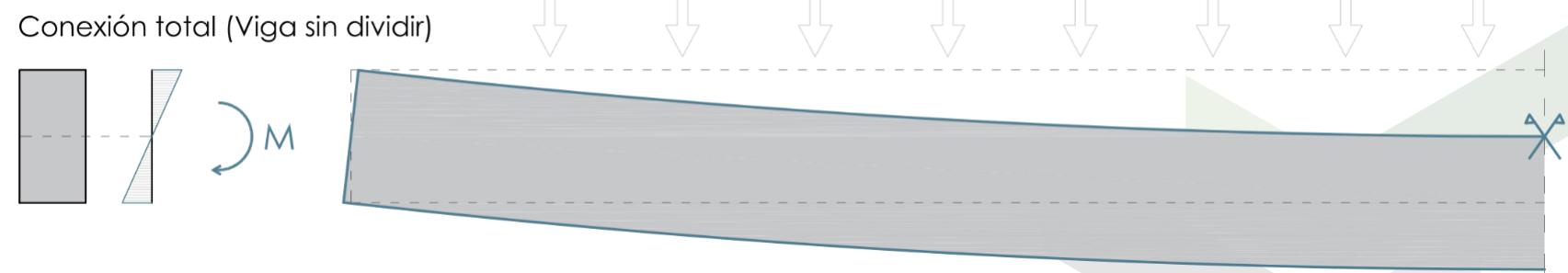
Opción sin conexión:

- Inercia x2 sección original
- Resistencia x2 sección original



Conexión total:

- Inercia x8 sección original
- Resistencia x4 sección original

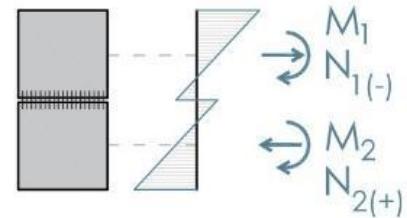


MCLam BS.

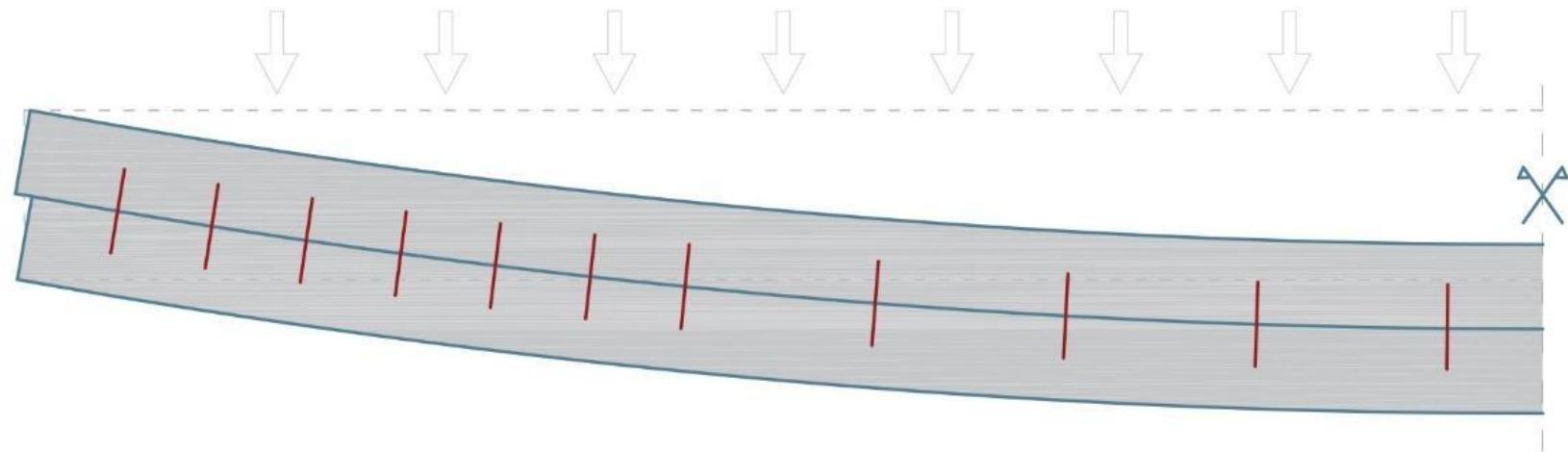
Concepto sección conectada

Ejemplo refuerzo con sección idéntica:

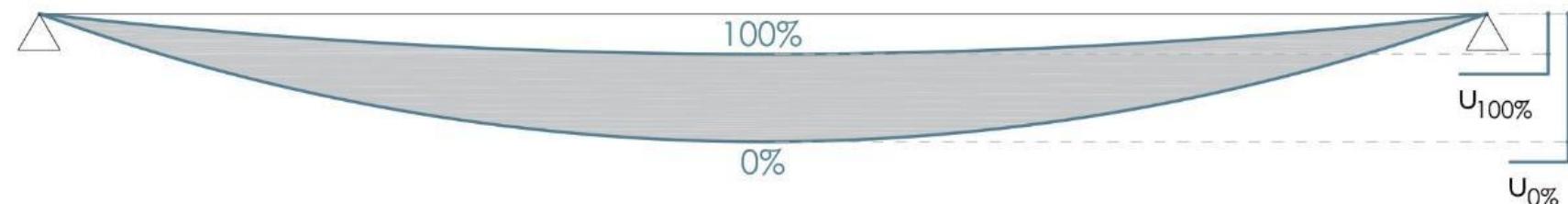
Conexión parcial



Conexión parcial

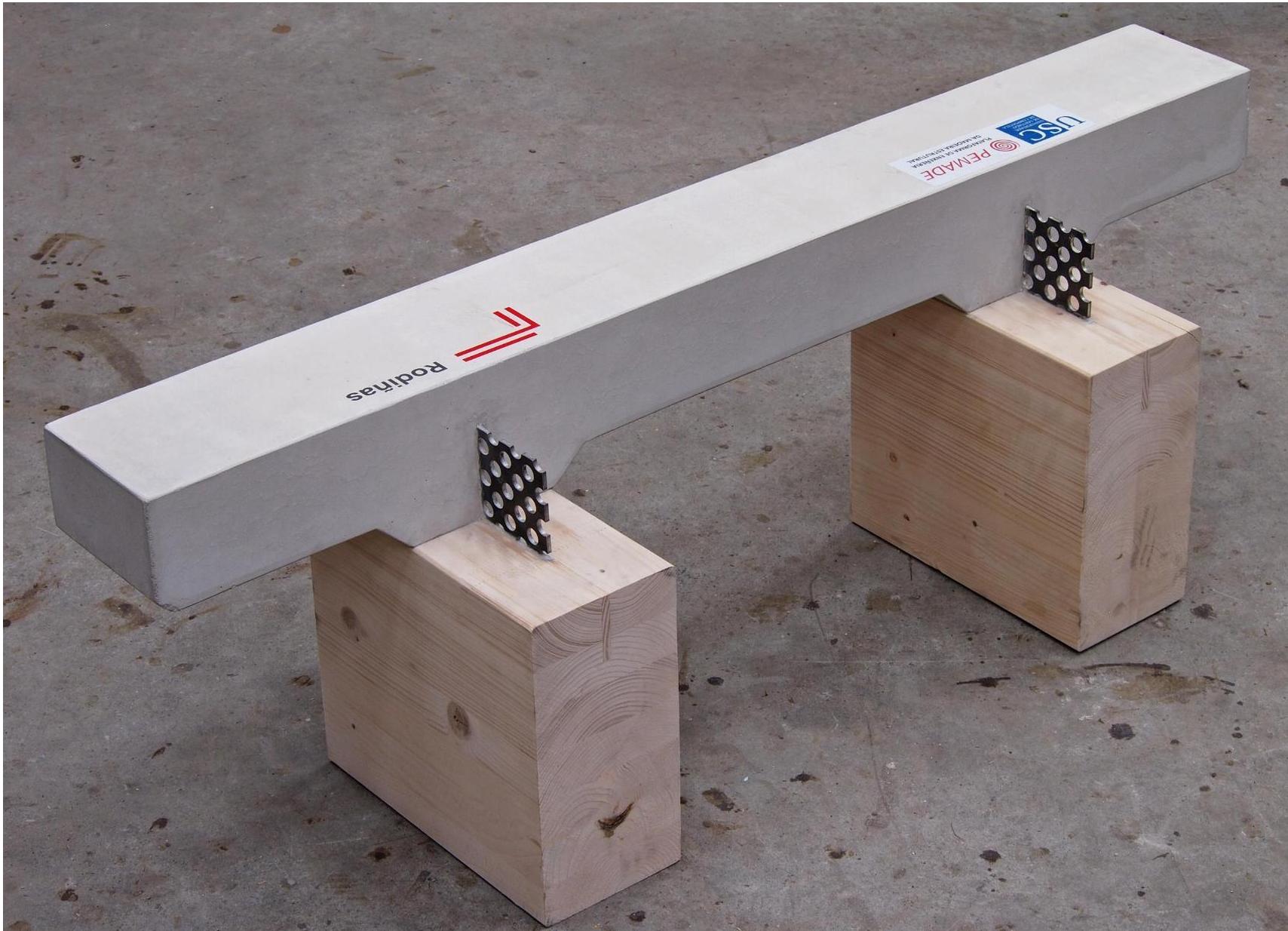
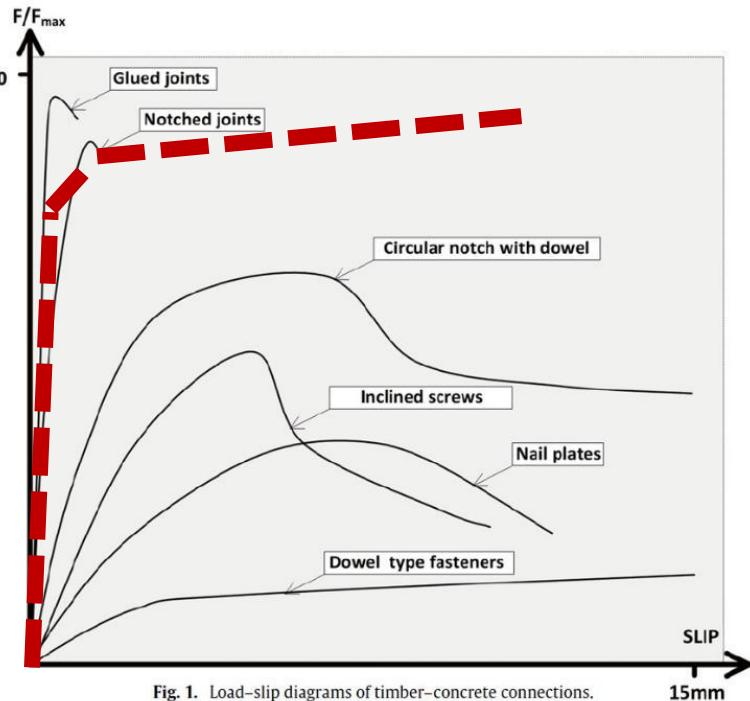


Deformación



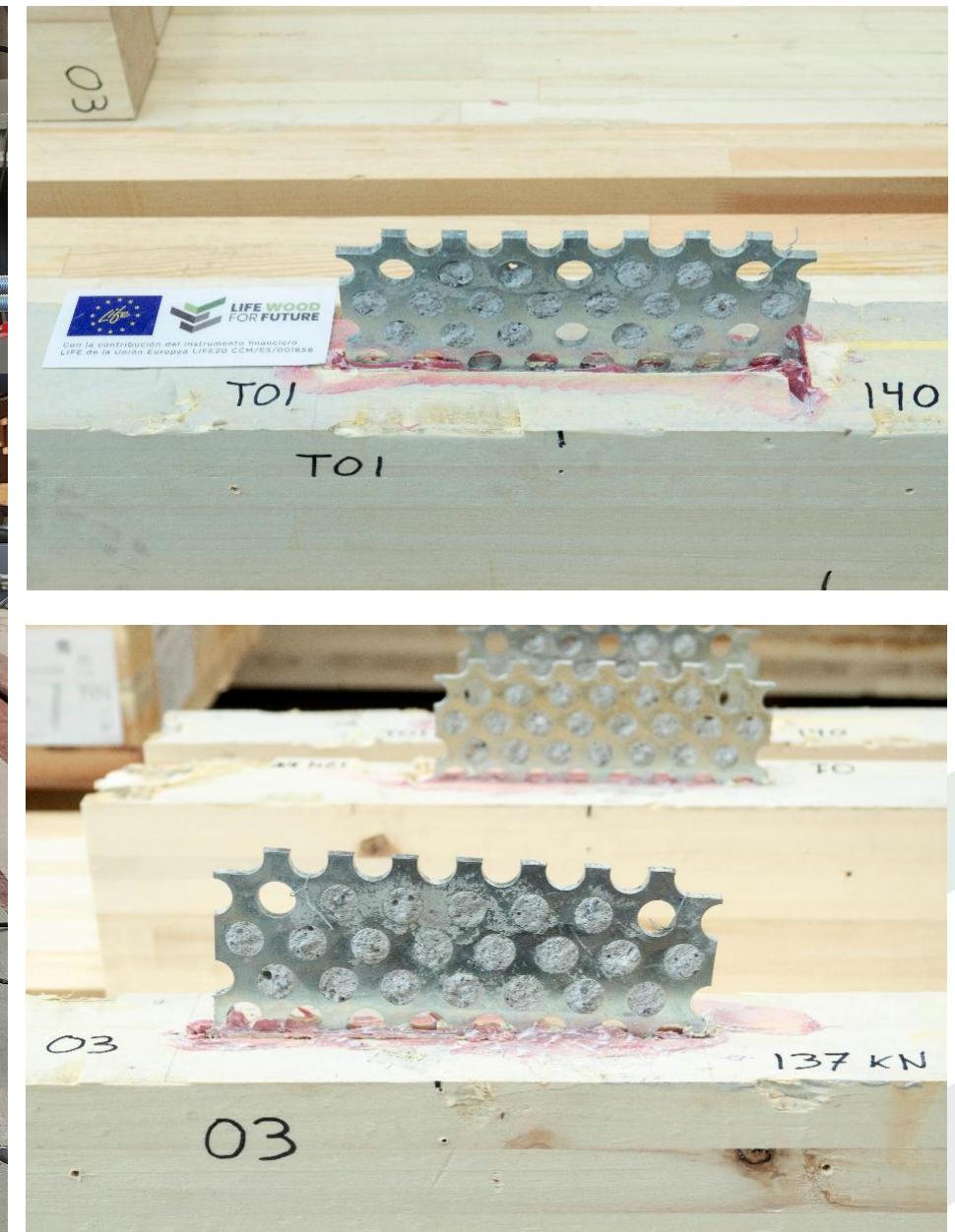
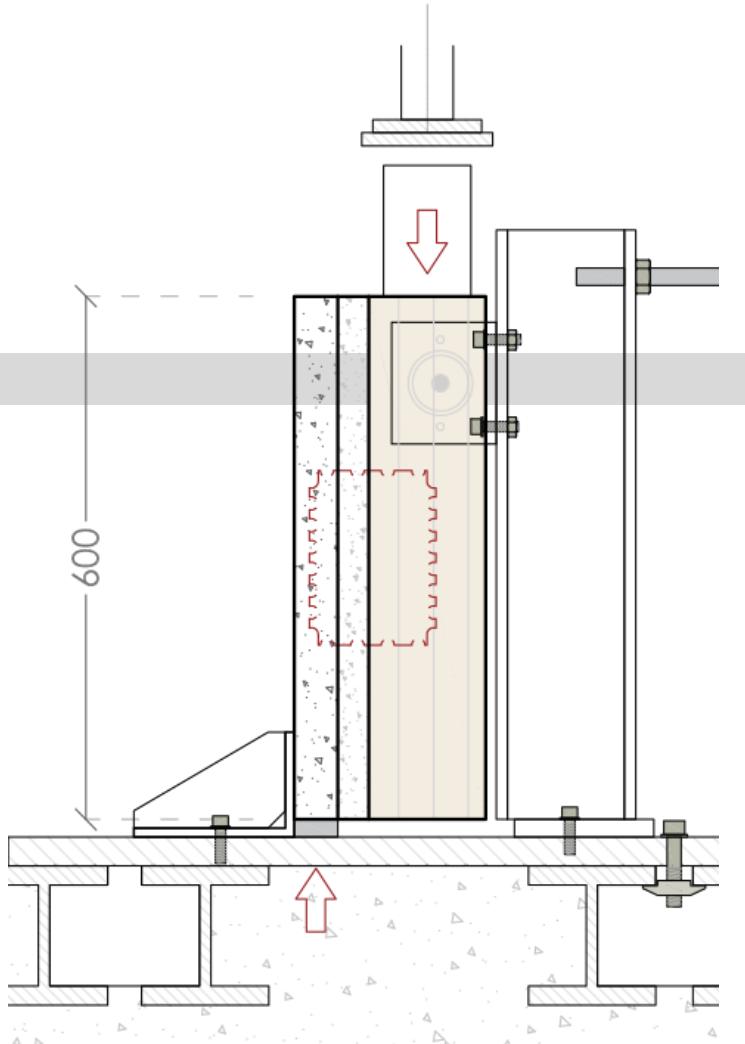
Conexión

- Chapa perforada con resina epoxi

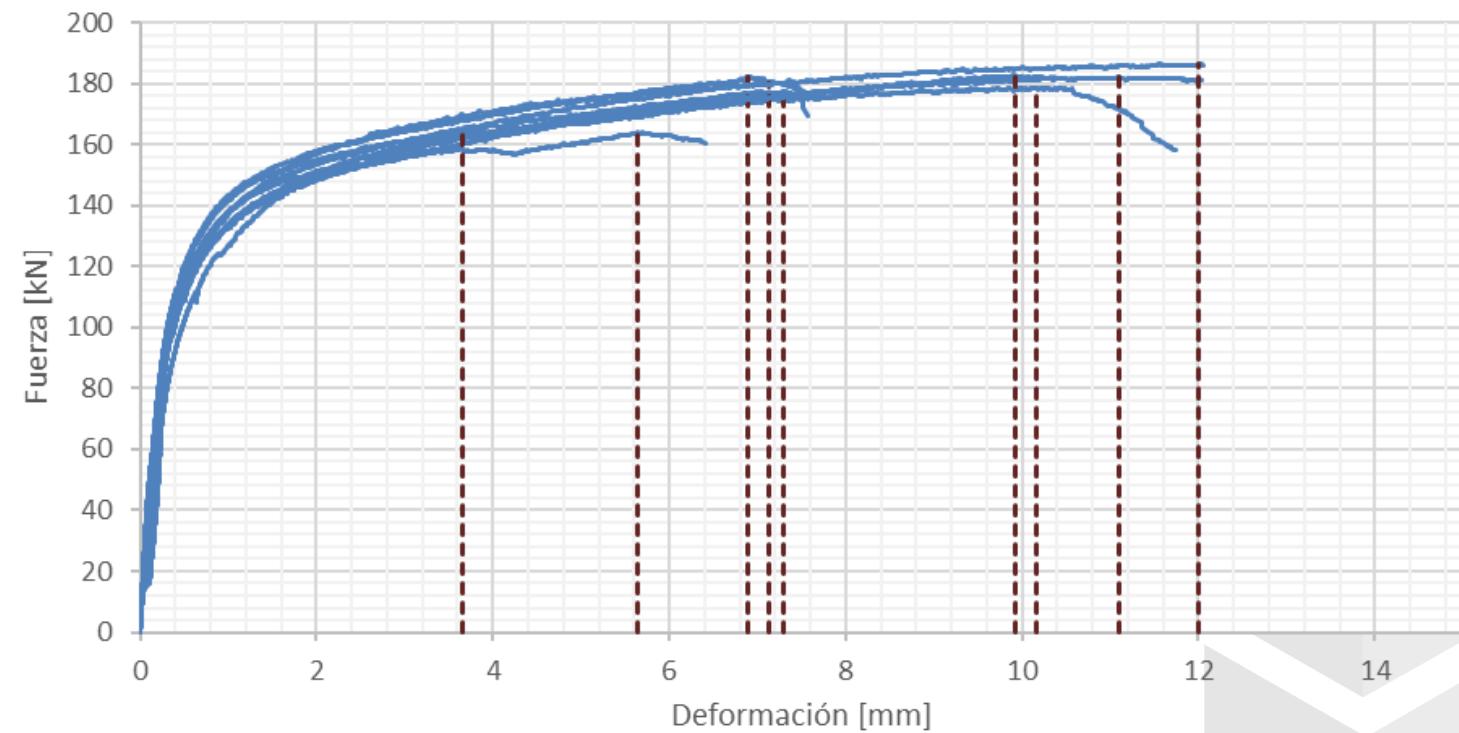
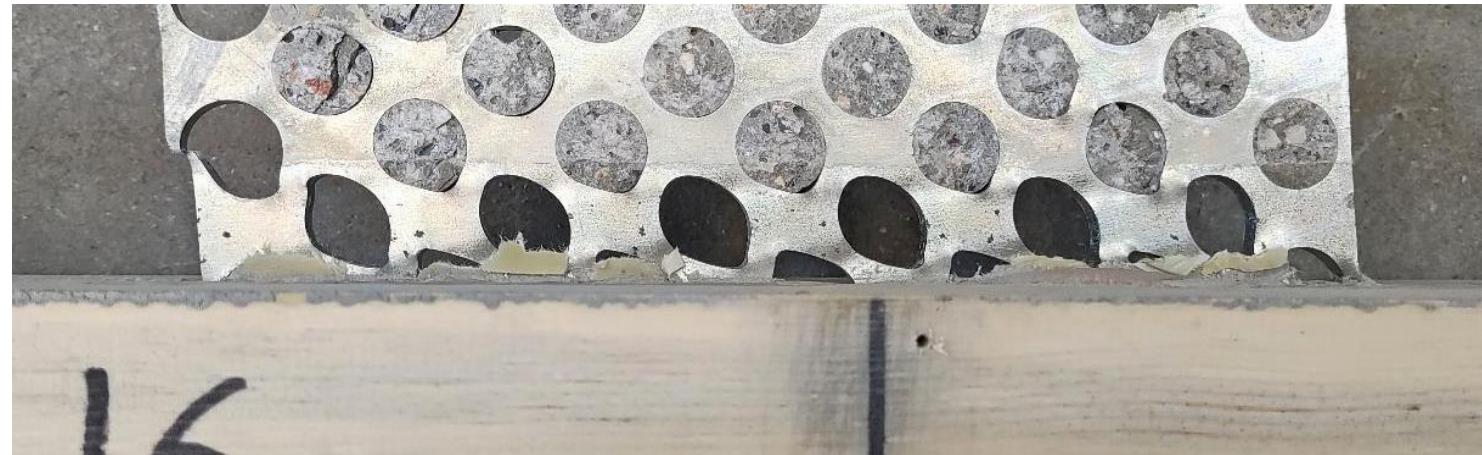
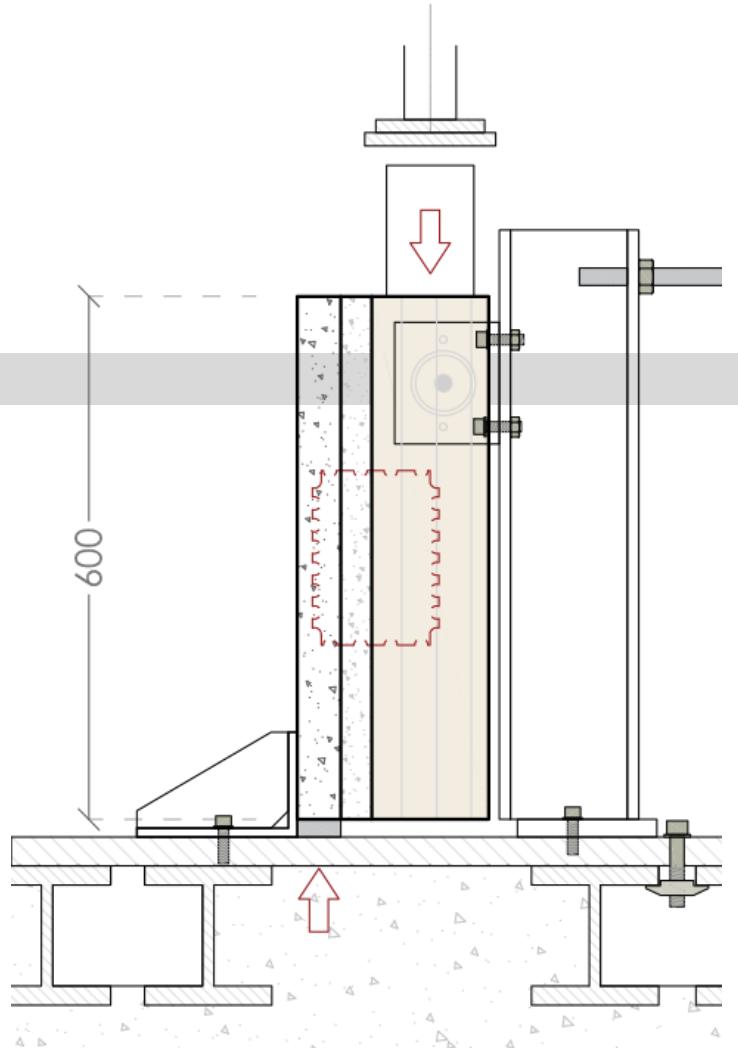


Productos estructurales. MCLam BS

Conexión
Ensayo mecánico.



Conexión Ensayo mecánico.



MCLam BS

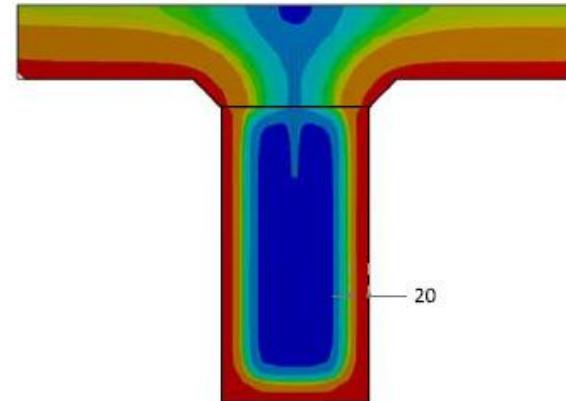
Situación de incendio

Mediante simulación numérica se calculan las temperaturas a los 30 y 60min.

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60
Tiempo [min]

Type: Temperature
Unit: °C
Time: 18:00
07/03/2024 12:29

542 Max
600
300
265.09
13018
19528
16037
12546
90.554
55.646
20.739 Min



Resistencia a fuego R30

Caras expuestas
Ambas piezas inferior y laterales

Sección madera

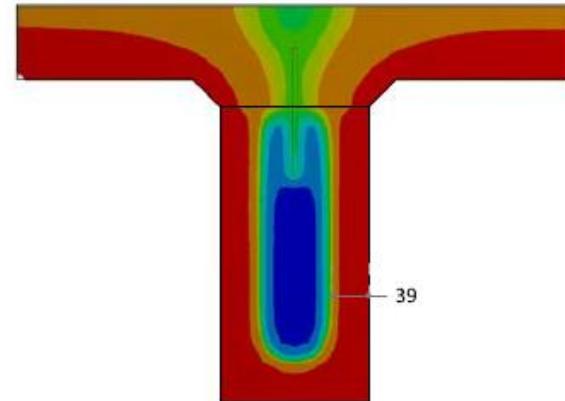
Sección b_1 104 mm
 h_1 292 mm

Método de la sección redondeada

d_{ef} 28 mm
 $d_{char,n}$ 21 mm
 t 30 s
 k_0 1
 d_0 7 mm
 β_n 0.70 mm/min

Type: Temperature
Unit: °C
Maximum Over Time
07/03/2024 12:30

945 Max
600
300
267.18
234.35
201.54
168.72
135.9
103.08
70.262
37.442 Min



Resistencia a fuego R60

Caras expuestas
Ambas piezas inferior y laterales

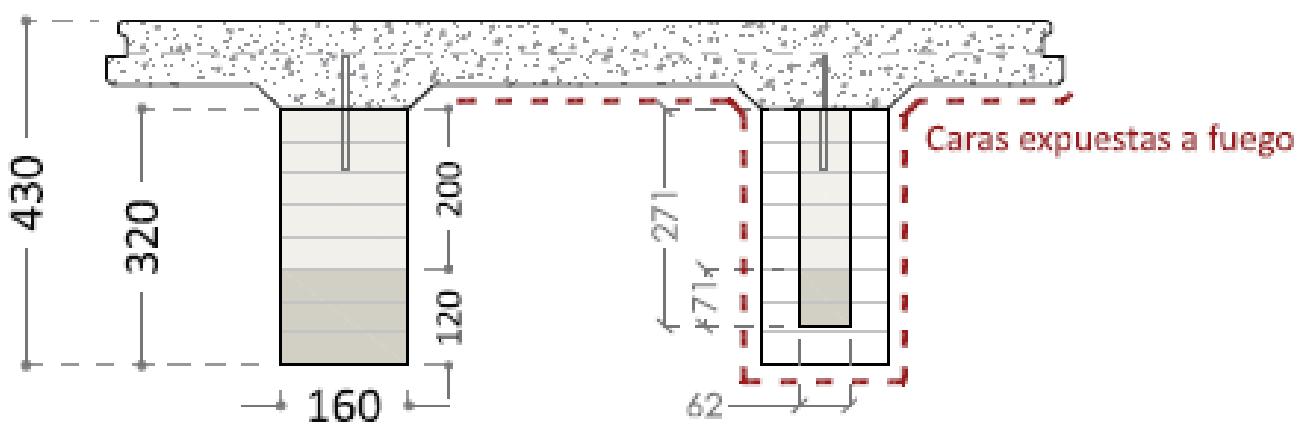
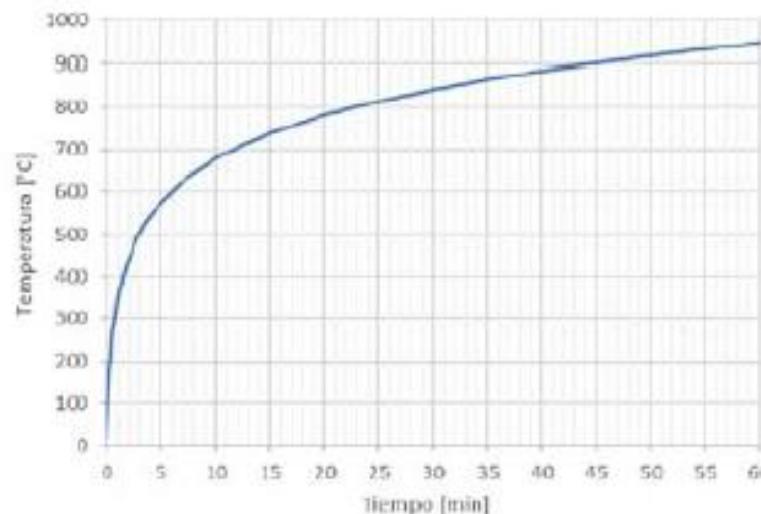
Sección madera

Sección b_1 62 mm
 h_1 271 mm

Método de la sección redondeada

d_{ef} 49 mm
 $d_{char,n}$ 42 mm
 t 60 s
 k_0 1
 d_0 7 mm
 β_n 0.70 mm/min

Curva temperatura ISO 834



MCLam BS

Comparativa

- 6 metros de luz
- Carga uso público

Madera en 100 m²

[-76%]

- CLT 24.0 m³
- MCLamBS 5.6 m³

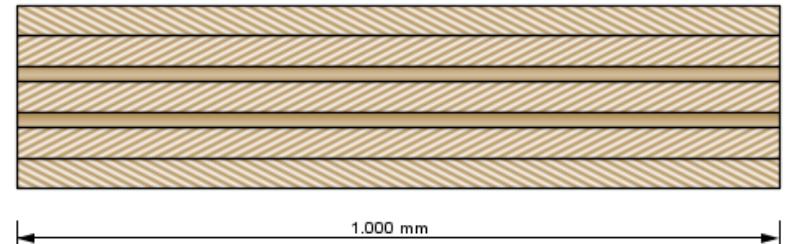
Material en 100 m²

[-40%]

- CLT 24.0 m³
- MCLamBS 14.3 m³

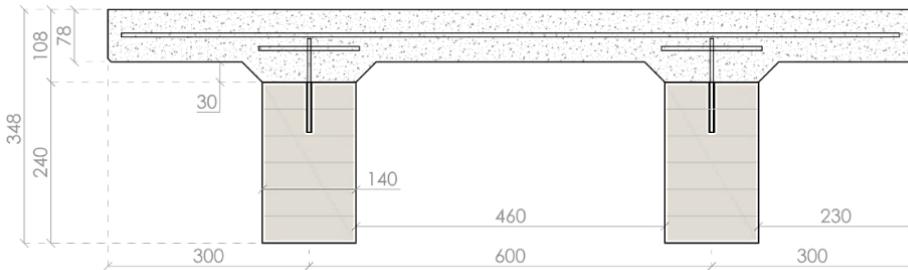
CLT

Panel 7 capas 240
[40+40+20+40+20+40+40]



MCLamBS

Canto total 350 [240+110]
Canto viga madera 240



Material

- Madera: 0.24 m³/m²



Material

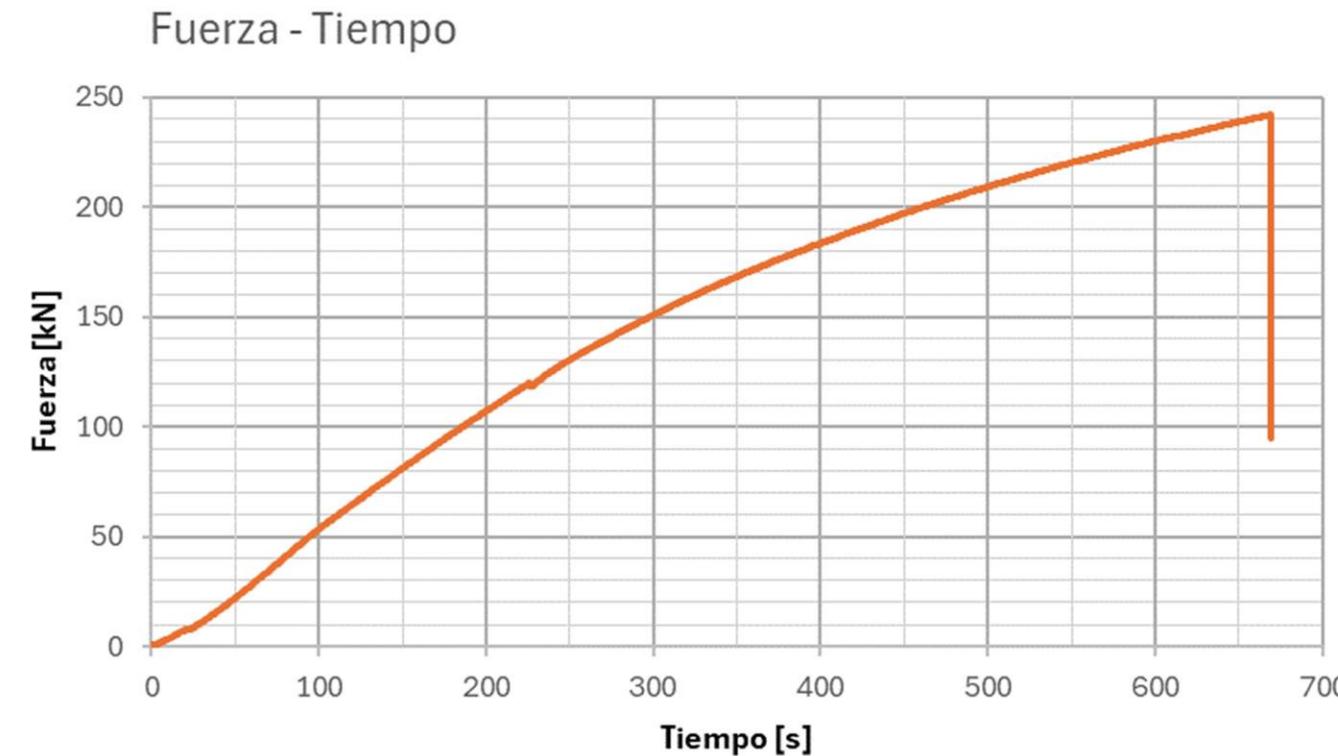
- Madera: 0.056 m³/m²
- Hormigón: 0.087 m³/m²
- Total: 0.143 m³/m²





ALTA RESISTENCIA Y RIGIDEZ A FLEXIÓN

ALTA RESISTENCIA Y RIGIDEZ A FLEXIÓN



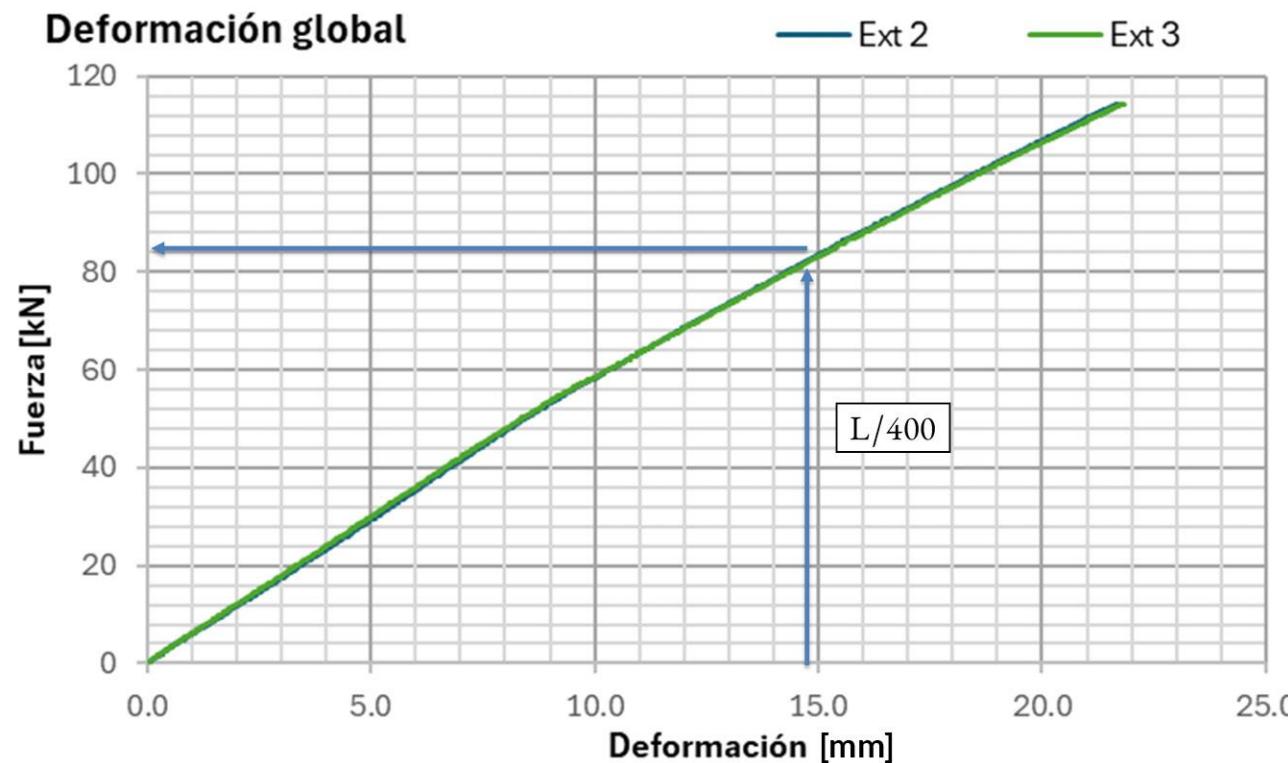
Luz de ensayo
Distancia carga apoyo

$L = 5900$ mm
 $a = 1950$ mm

Fuerza máxima
Rigidez
Momento flector máximo

$F_{\text{máx}} = 245.03$ kN
 $(EI)_{\text{ef}} = 21527$ kN m²
 $M_{\text{máx}} = 244.41$ kN m

ALTA RESISTENCIA Y RIGIDEZ A FLEXIÓN



Luz de ensayo
Distancia carga apoyo

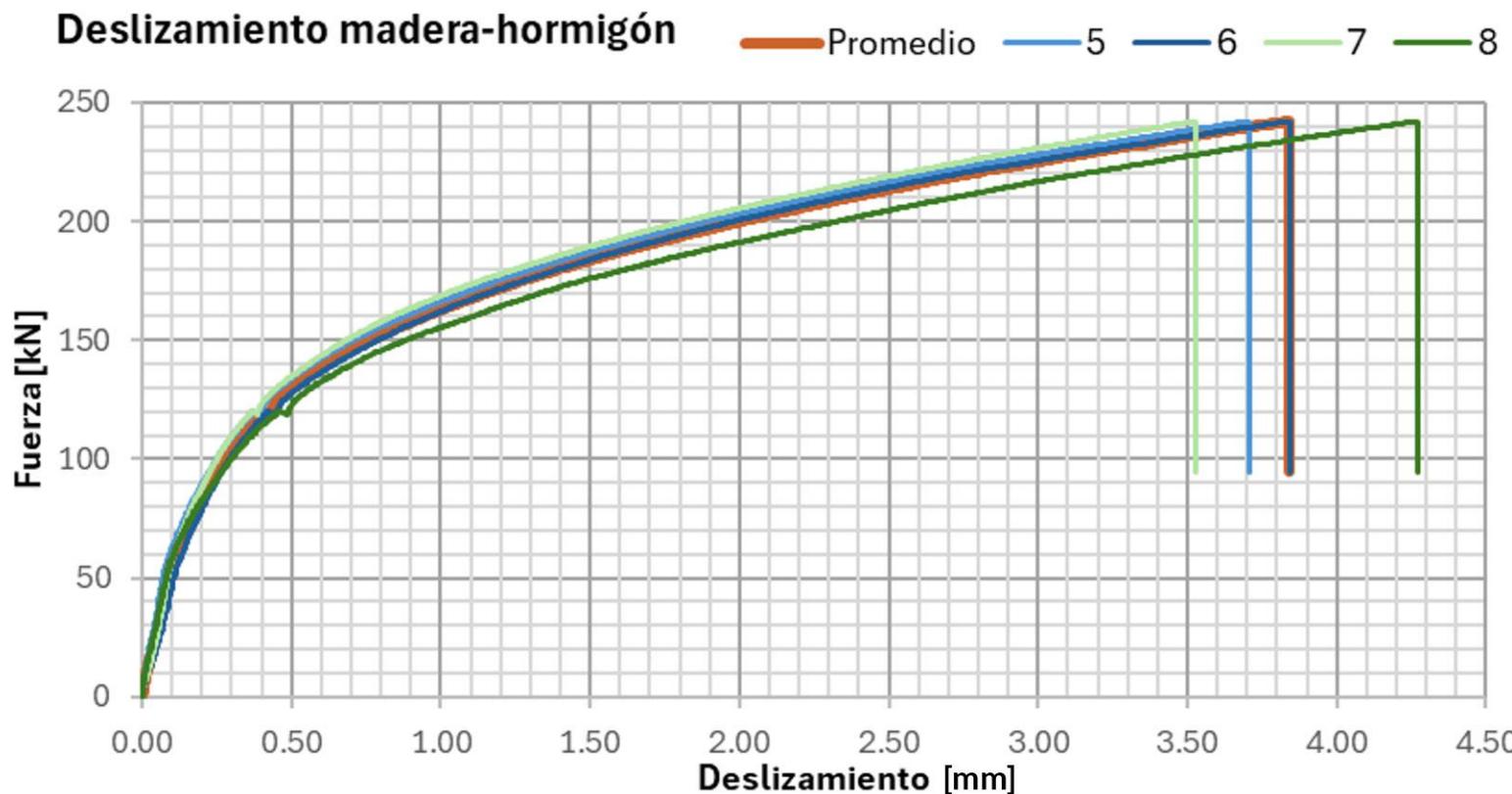
$L = 5900$ mm
 $a = 1950$ mm

Fuerza máxima
Rigidez
Momento flector máximo

$F_{\text{máx}} = 245.03$ kN
 $(EI)_{\text{ef}} = 21527$ kN m²
 $M_{\text{máx}} = 244.41$ kN m



EXCELENTE COMPORTAMIENTO DE LA UNIÓN MADERA-HORMIGÓN: MUY BAJO DESLIZAMIENTO



ROTURA POR MADERA: ALTA SEGURIDAD ESTRUCTURAL





FABRICACIÓN



FABRICACIÓN





DEMOSTRATIVO OBRA REAL REHABILITACIÓN

PAZO PIÑEIRO, ARES, A CORUÑA

Jorge Salgado





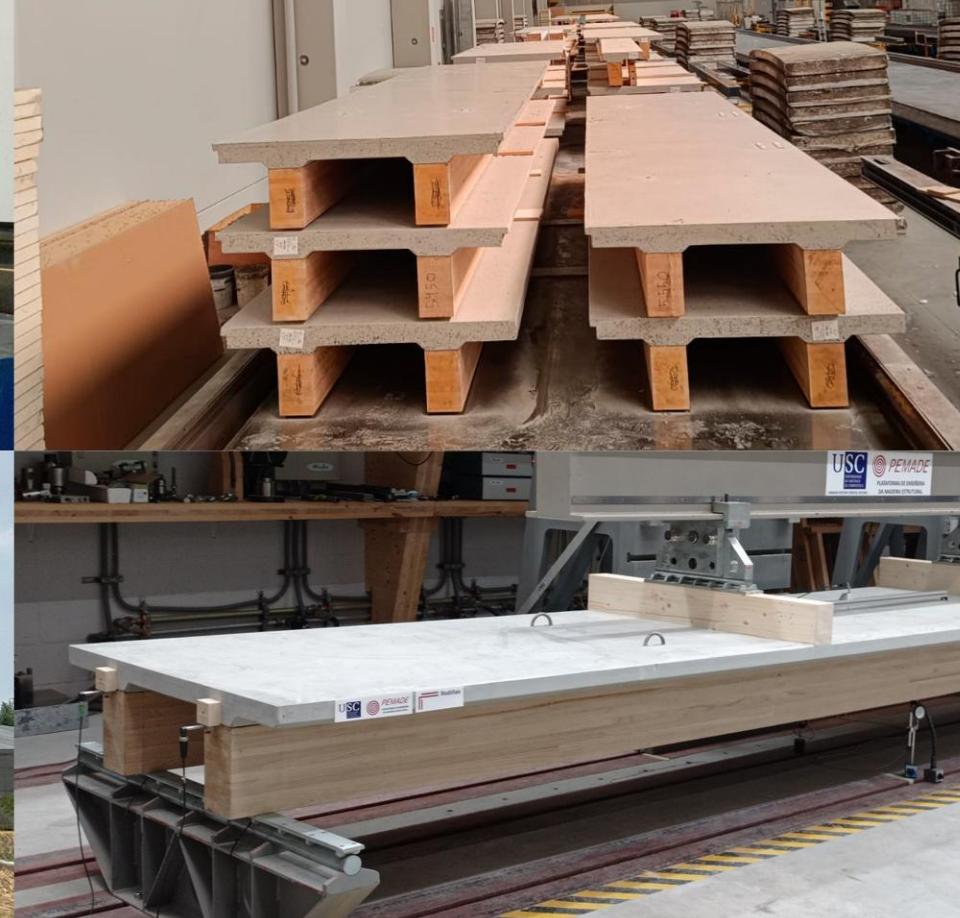


**DEMOSTRATIVOS A
ESCALA REAL**

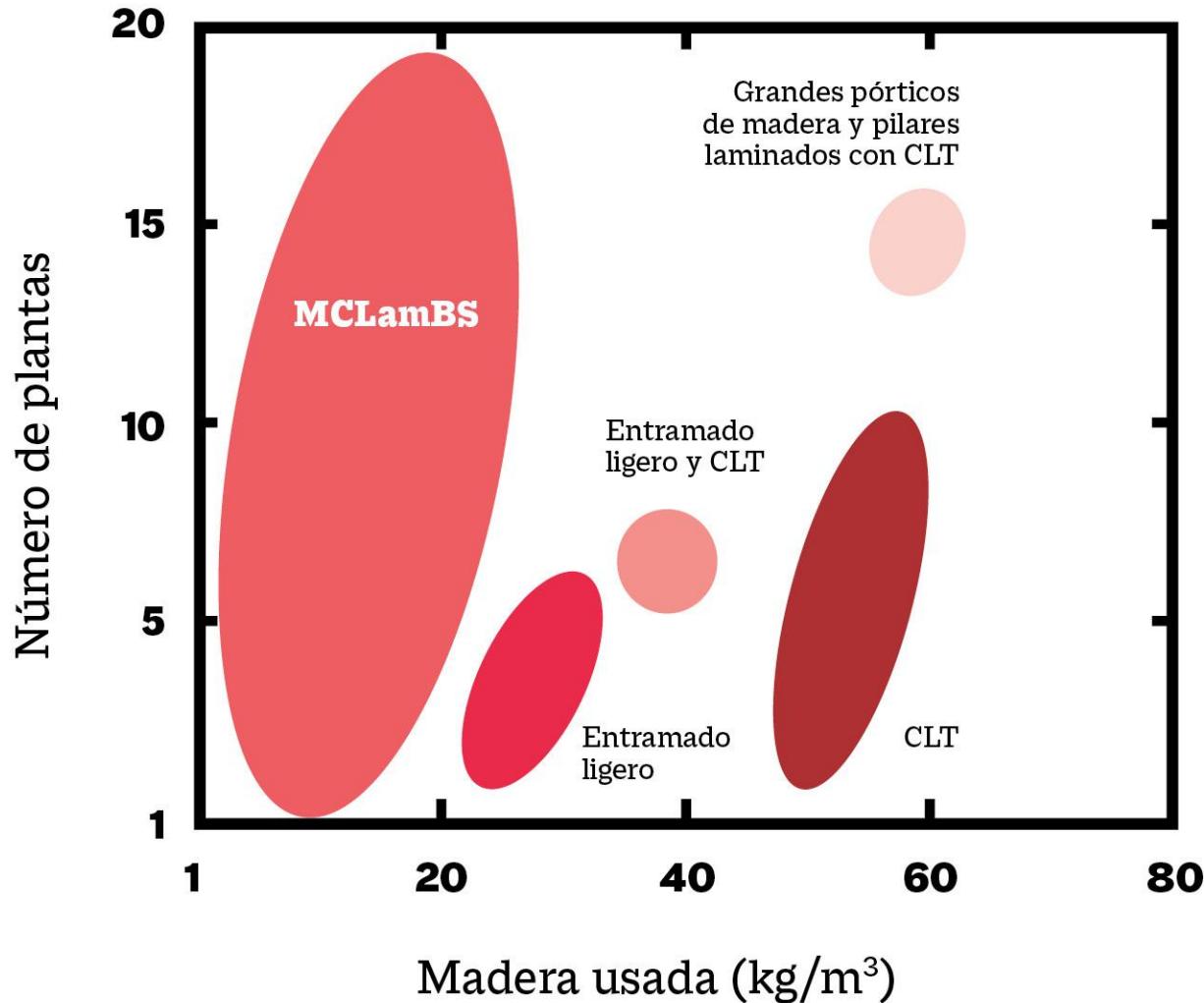
PEMADE-USC (LUGO)

UIMA-UGR (GRANADA)





NICHO DE USO



- ✓ **Prefabricado: Construcción industrializada**
- ✓ **Buen aislamiento acústico**
- ✓ **Buen comportamiento a fuego**
- ✓ **Baja huella carbono**
- ✓ **Ideal para grandes luces**
- ✓ **Ideal para edificios en altura**
- ✓ **Ideal para patrones propios de construcción compacta modular industrializada**

MEJORAS DE MCLAMBS RESPECTO DE FORJADOS DE HORMIGÓN ARMADO



MCLAMBS

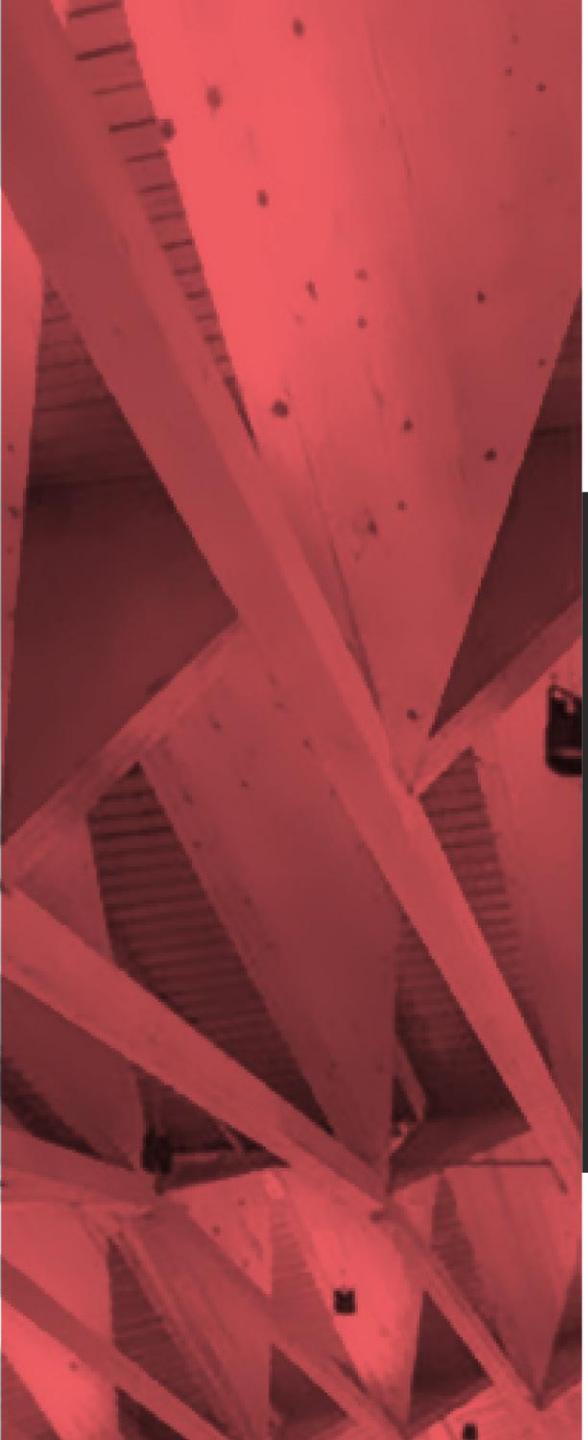


FORJADO UNIDIRECCIONAL DE HORMIGÓN



FORJADO PLACA ALVEOLAR

 Peso	 Tiempo de ejecución	 Huella ambiental
40% más ligero que un forjado de placa alveolar de hormigón	Similar a un forjado de placa alveolar de hormigón	Descenso del 70% de las emisiones de CO2 respecto de un forjado de placa alveolar de hormigón
25% más ligero que un forjado unidireccional de hormigón hecho in situ	65% menor que un forjado unidireccional de hormigón hecho in situ	Descenso del 43% de la huella hídrica respecto de un forjado placa alveolar de hormigón



IBEROLAM

Timber & Technology

Empresa de Base Tecnológica (spin-off) de la Universidad de Granada

MADERA ESTRUCTURAL,

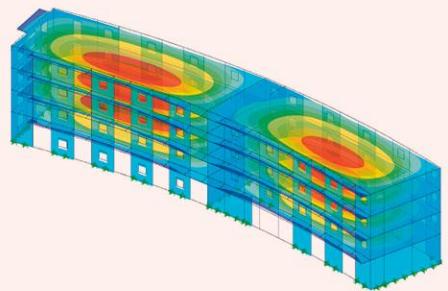
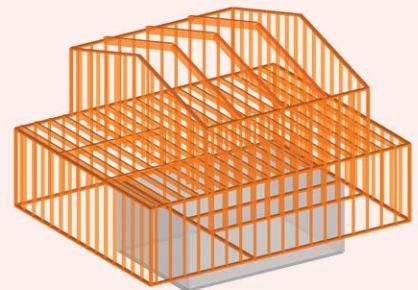
Soluciones y servicios

“No plantamos árboles para construir con madera, **construimos con madera para plantar más árboles**”

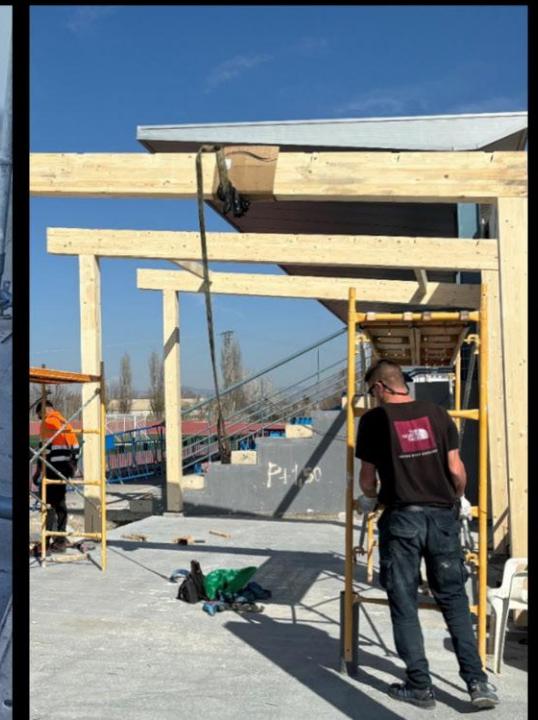
www.iberolam.com







CÁLCULO, MODELADO ESTRUCTURAL Y MONTAJE

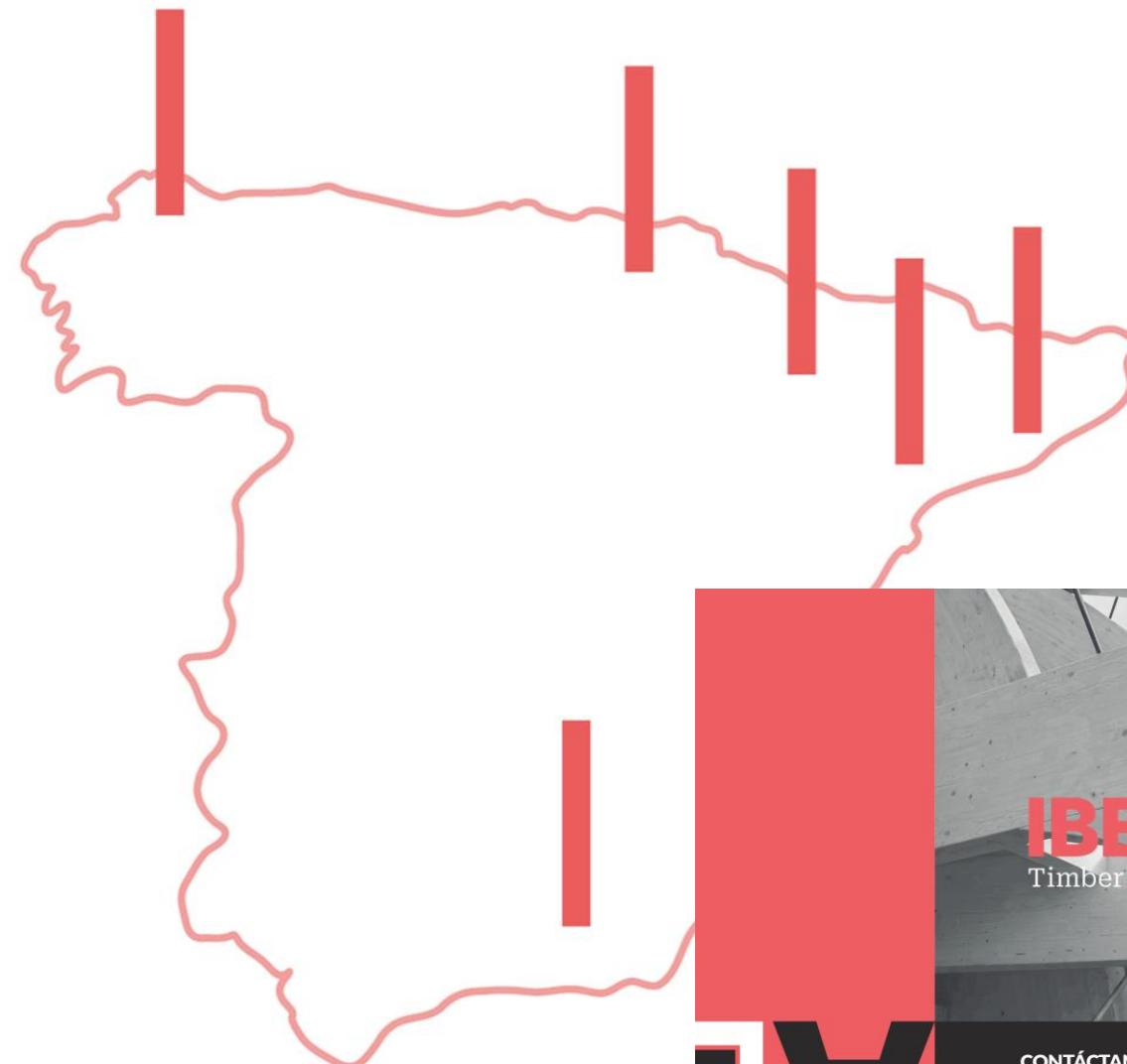






IBEROLAM
Timber & Technology







IBEROLAM
Timber & Technology

CONTACTANOS

 Edificio Florentino García Sánchez
Vivero de Empresas de la Universidad de Granada.
C/ Gran Vía de Colón 48, Planta 5, D5-06

 (+34) 858 69 05 32 | (+34) 603 360 214

 info@iberolam.com

www.iberolam.com





Moltes gràcies per la teva atenció / Muchas gracias por tu atención --
Antolino Gallego. UIMA-Universidad de Granada (antolino@ugr.es)
Carlos Benavides. Iberolam Timber&Technology (info@iberolam.com)
José A. Lorenzana-PEMADE-Universidade Santiago Compostela
(joseantonio.lorenzana@usc.es)

7è CONGRÉS FUSTA CONSTRUCTIVA

BARCELONA 20 / 21 NOV 2025
INSTITUT ESCOLA DEL TREBALL
C. DEL COMTE D'URGELL, 187

Organitzadors:

GREMI FUSTA I MOBLE 1257



Patrocinadors:



Col·laboradors:



Generalitat de Catalunya
Departament d'Educació
i Formació Professional



Unidad de Investigación
de la Madera Estructural
de Andalucía

