

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:



Ara és la nostra





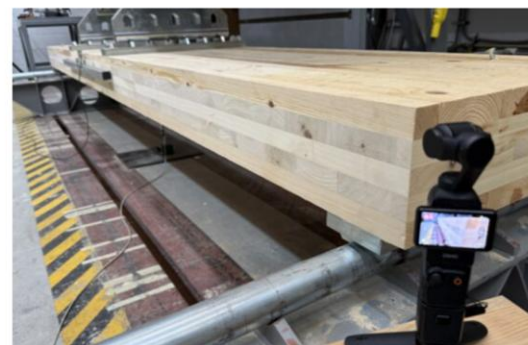
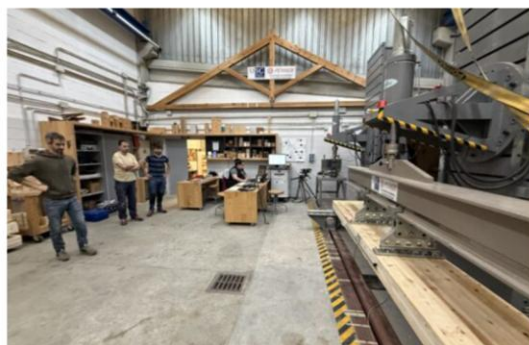
**LIFE WOOD  
FOR FUTURE**

**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**

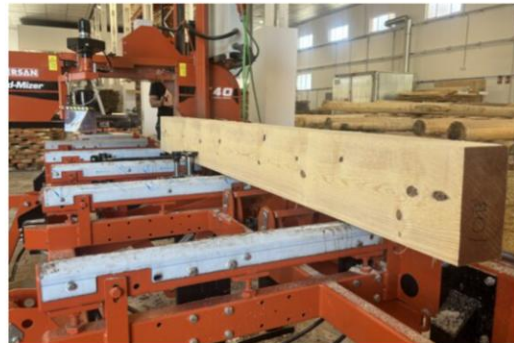
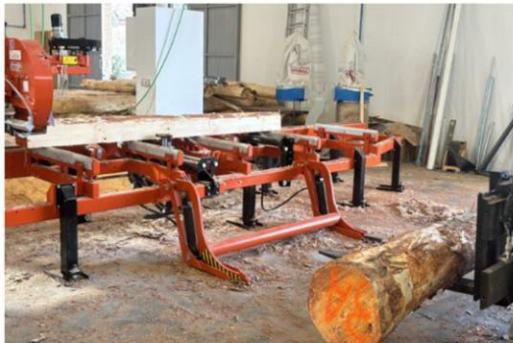
## Intervención en toda la cadena de valor













## 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.

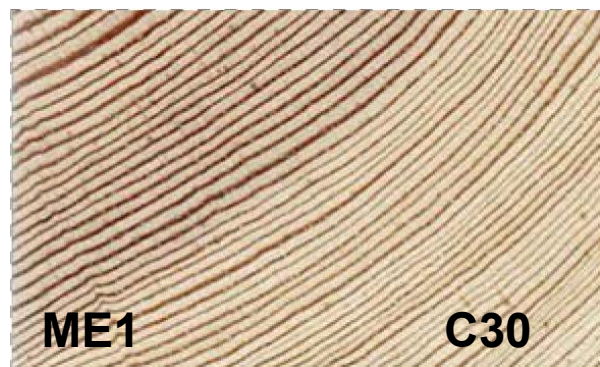
Introducción en norma UNE 56546 "Clasificación visual de frondosas" y en la EN 1912 "Procedencias según normas de clasificación"

Sección tabla 50x30



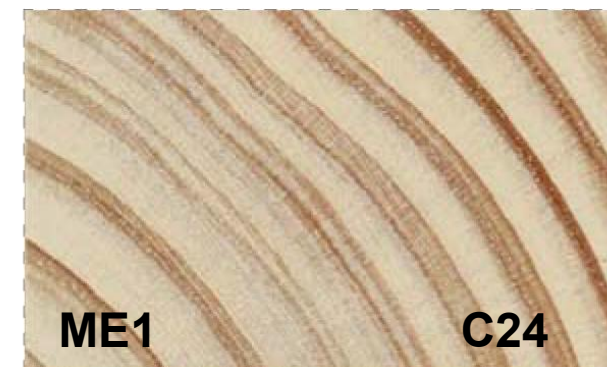
Chopo

nº anillos:  
≈ 3



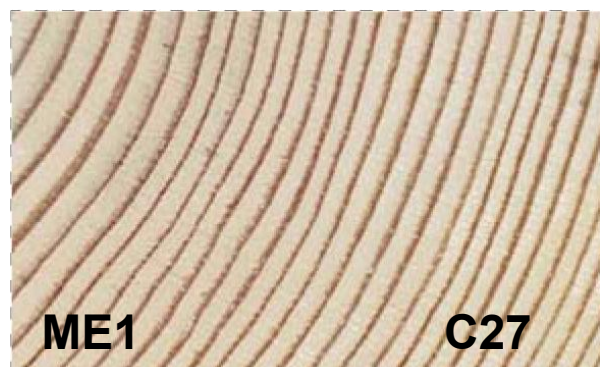
Pino  
laricio

nº anillos:  
≈ 56



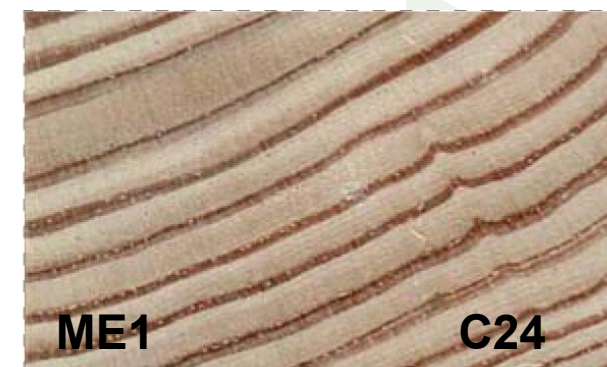
Pino  
radiata

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.

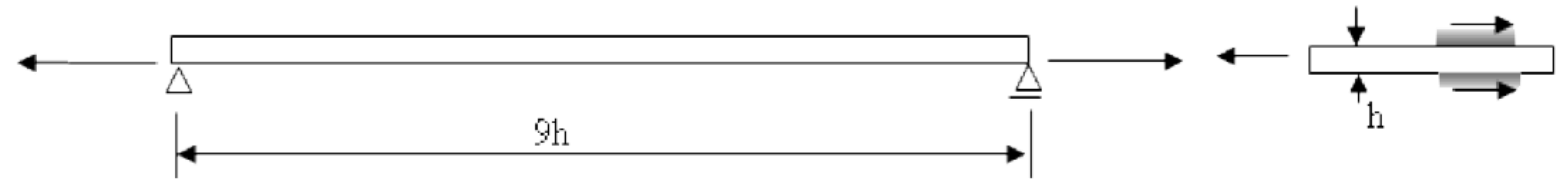
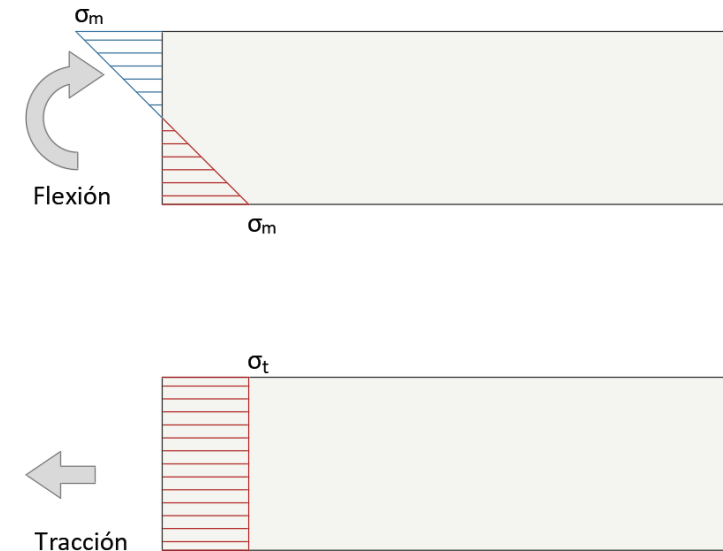
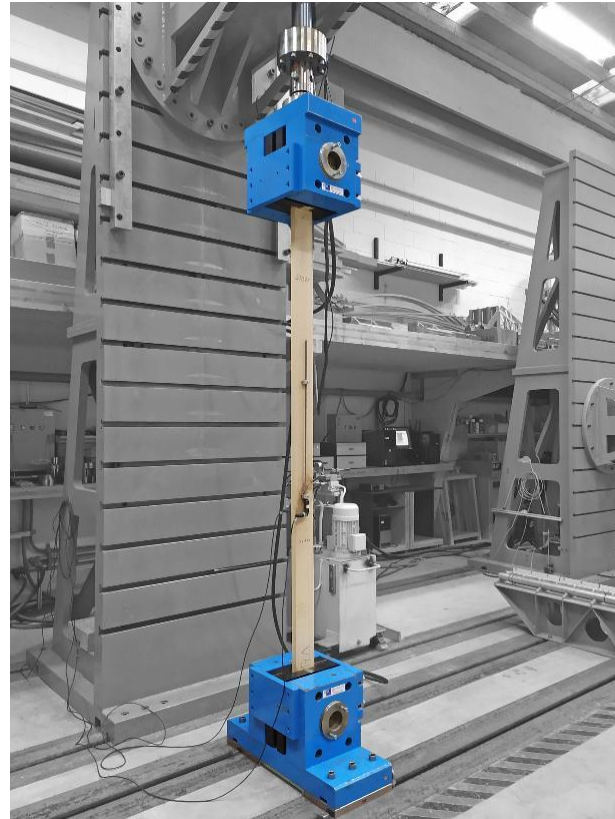


Figura 10 – Disposición en el ensayo de tracción paralela a la fibra



## 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

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

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

## CARACTERIZACIÓN MADERA

**Chopo T10\***

	Clase	T 8	T 9	T 10	T 11	T 12
<b>Propiedades de resistencia en N/mm<sup>2</sup></b>						
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
<b>Propiedades de rigidez en kN/mm<sup>2</sup></b>						
Módulo de elasticidad medio en flexión paralela a la fibra	$E_{t,0,\text{mean}}$	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	$E_{t,90,\text{mean}}$	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32
Módulo de cortante medio	$G_{\text{mean}}$	0,44	0,47	0,50	0,56	0,59
<b>Densidad en kg/m<sup>3</sup></b>						
Densidad característica (5% percentil)	$\rho_k$	290	300	310	320	330
Densidad media	$\rho_{\text{mean}}$	350	360	370	380	400

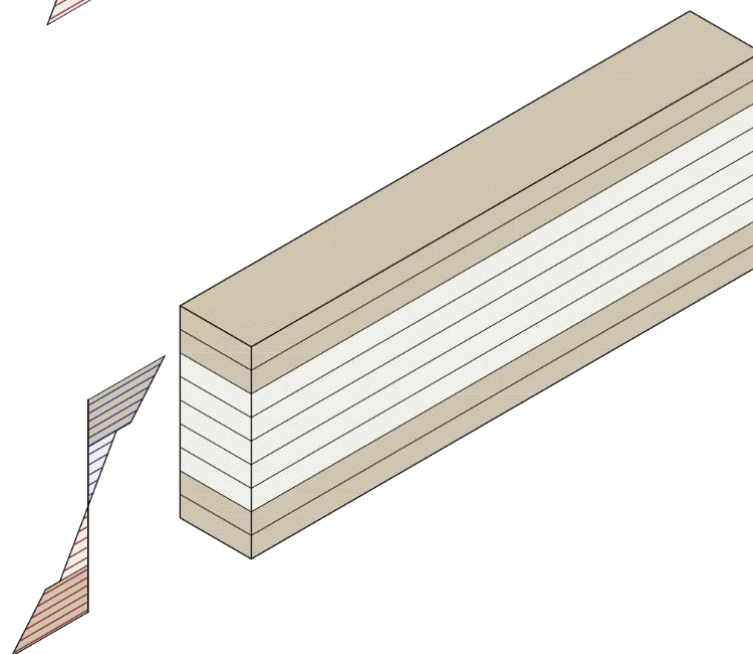
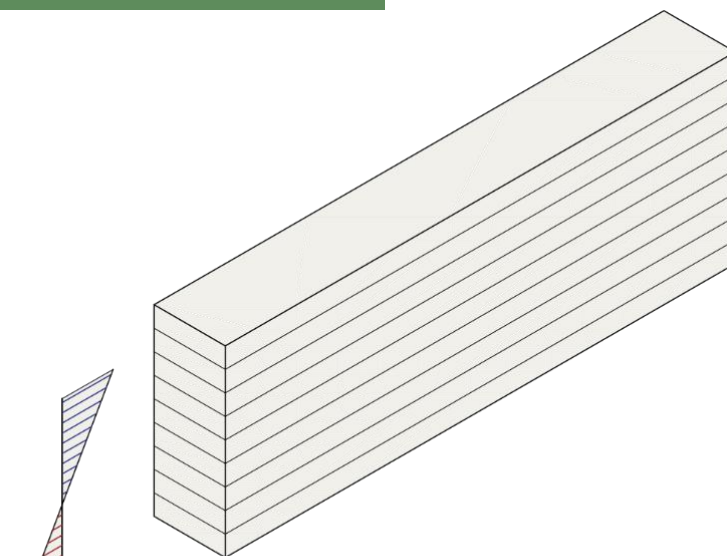
Norma EN 1912 "Procedencias según normas de clasificación"



## 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/mm<sup>2</sup>**

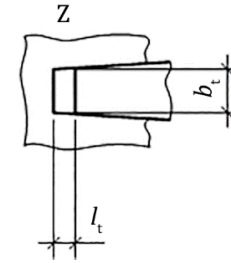
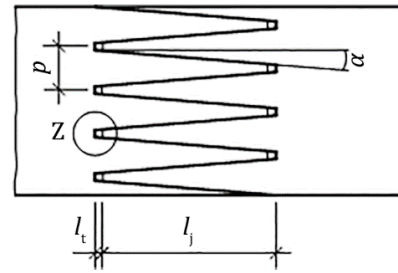
Clase resistente de la madera laminada encolada	Clase resistente de las láminas	$f_{m,j,k}$
GL 20h	T10	25
GL 20h	T11	22
GL 22h	T13	25
GL 24h	T14	30
GL 26h	T16	33
GL 28h	T18	36
GL 30h	T21	38
GL 30h	T22	37
GL 32h	T24	41
GL 32h	T26	38





## MCLam Finger-joint

Pruebas de geometría y presión:



Leyenda

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

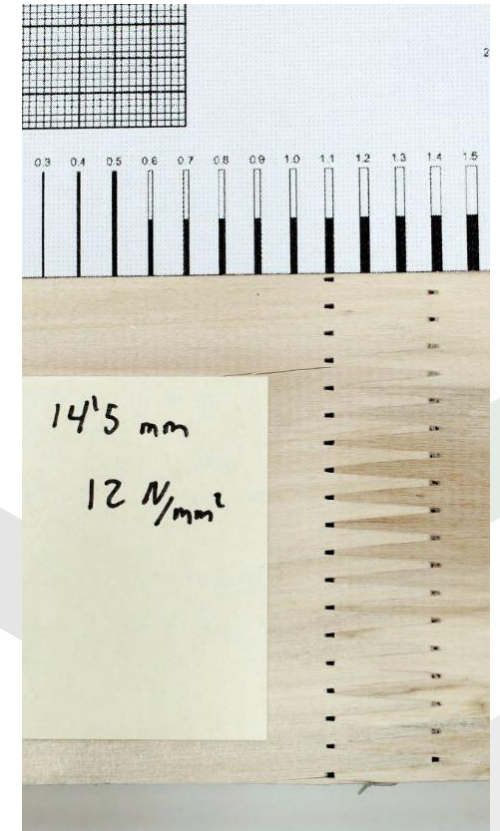
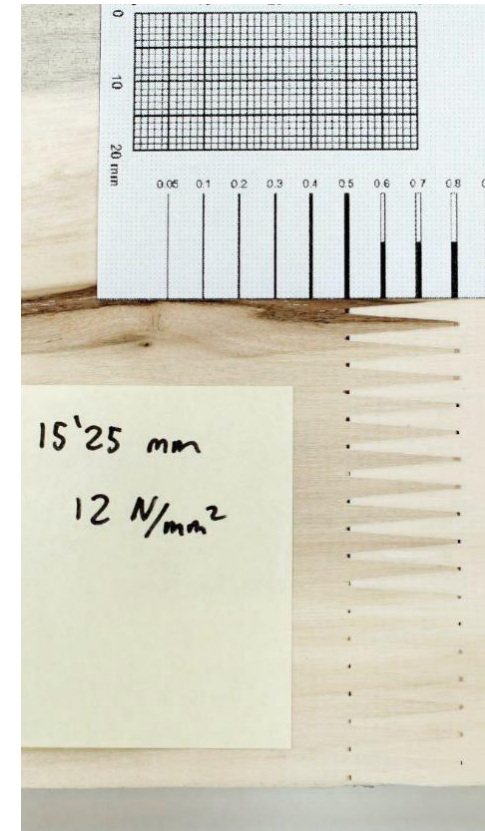
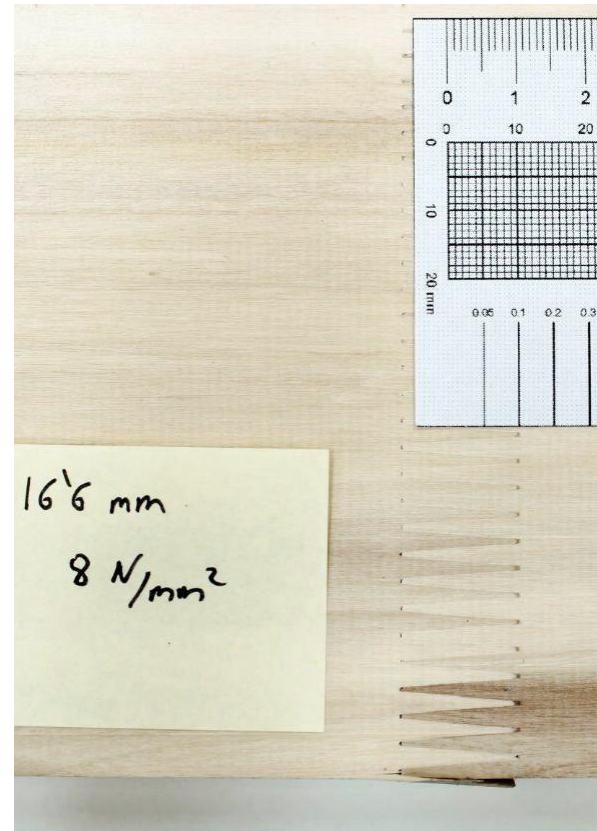
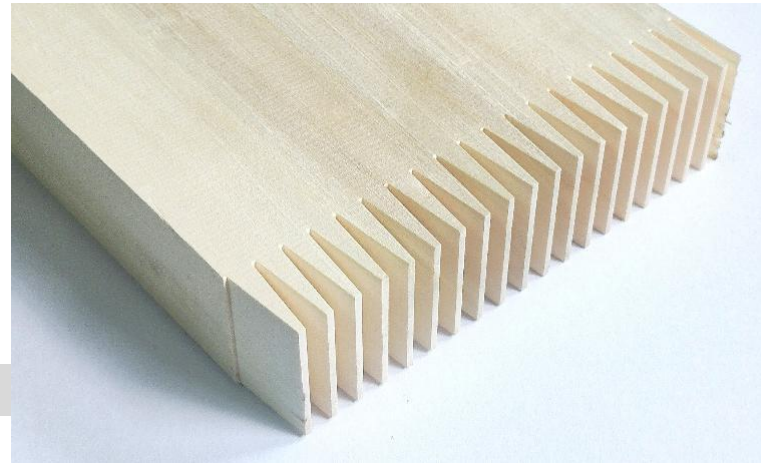
**Holgura del dentado**

$$e = l_t / l_j$$

$$0.01 \leq e \leq 0.08$$

Diente 15mm

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





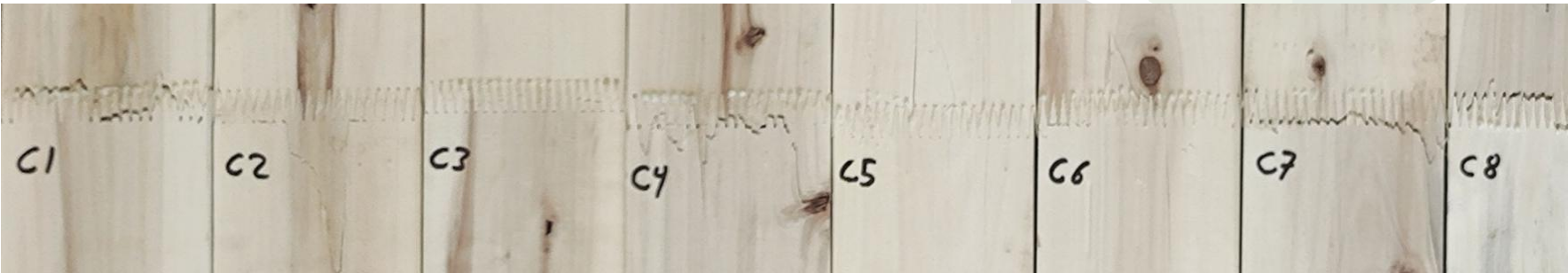
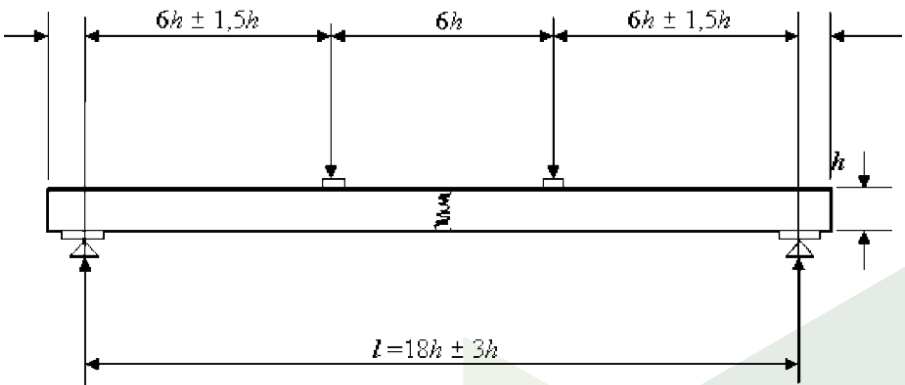
MCLam  
Finger-joint

Proceso de certificación. [Ensayo inicial de tipo]  
- Ensayos unión dentada flexión

Valor característico UNE-EN 14358

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

$\geq 25 \text{ N/mm}^2$



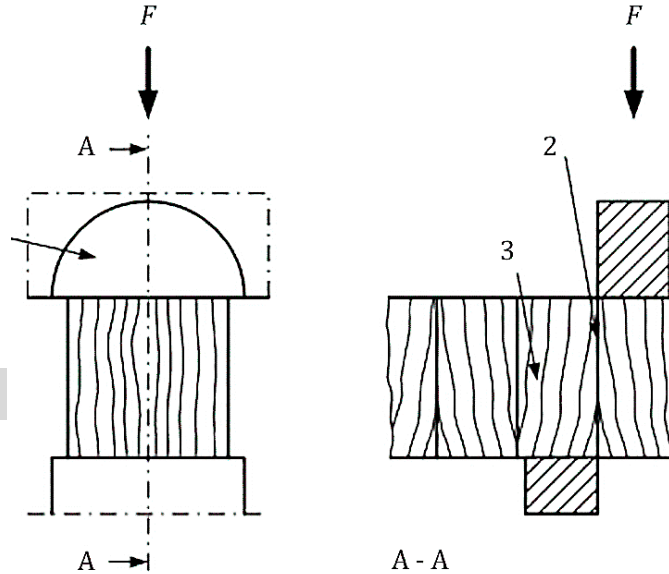


## MCLam Encolado de cara



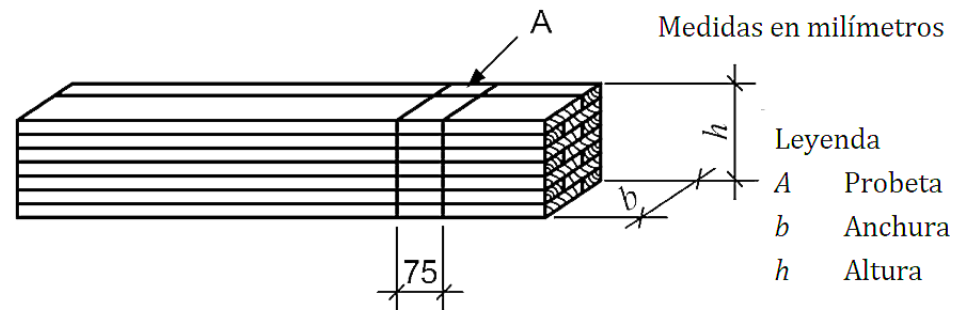
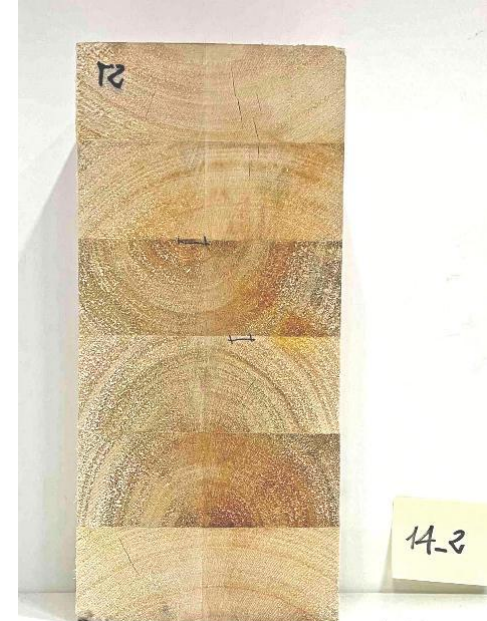
Proceso de certificación. [Ensayo inicial de tipo]

- 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**



## Productos estructurales. MCLam



MCLam  
[Combinada pino - chopo]

UNE EN 14080

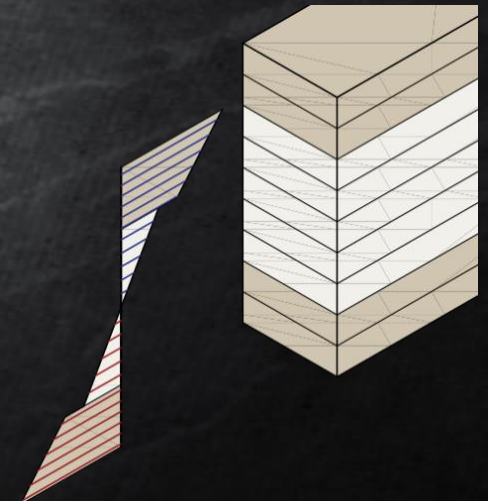
5.5.2 Especies de madera

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



Nuevo EAD:

“Glued laminated timber made of poplar and softwood”



## Productos estructurales. MCLam



MCLam

[Combinada pino - chopo]

Mejora en relación solo chopo:

≈ 48% chopo

≈ 52% Pino laricio

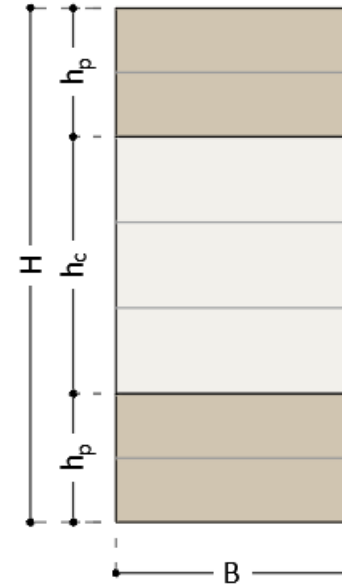
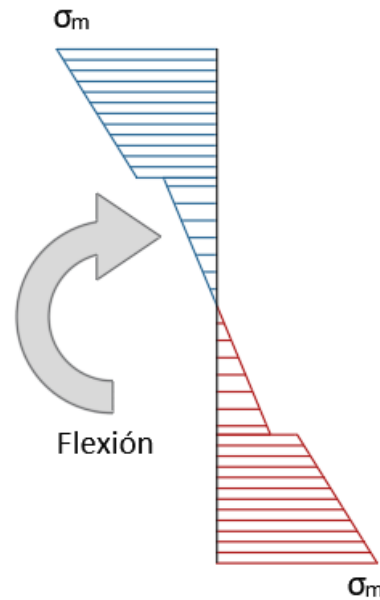
Incremento de resistencia: ≈ 45%

Incremento de rigidez: ≈ 44%

GL20h



GL26c

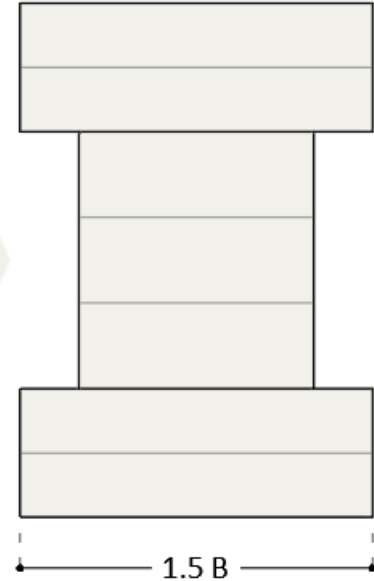


**P Laricio (C30)**  
E 12600 N/mm<sup>2</sup>

**Chopo (T10)**  
E 8400 N/mm<sup>2</sup>

**P Laricio (C30)**  
E 12600 N/mm<sup>2</sup>

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





## Productos estructurales. MCLam



MCLam

[Combinada pino - chopo]

Mejora en relación solo chopo:

≈ **70%** chopo

≈ 30% Pino laricio

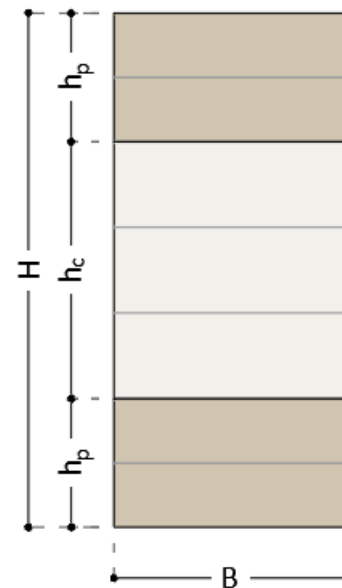
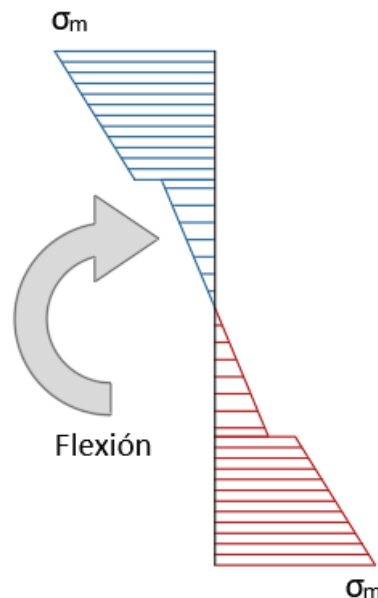
Incremento de resistencia: ≈ **32%**

Incremento de rigidez: ≈  
**33%**

GL20h



GL24c

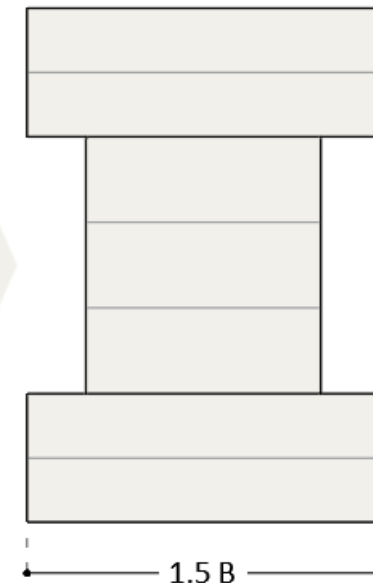


**P Laricio (C30)**  
E 12600 N/mm<sup>2</sup>

**Chopo (T10)**  
E 8400 N/mm<sup>2</sup>

**P Laricio (C30)**  
E 12600 N/mm<sup>2</sup>

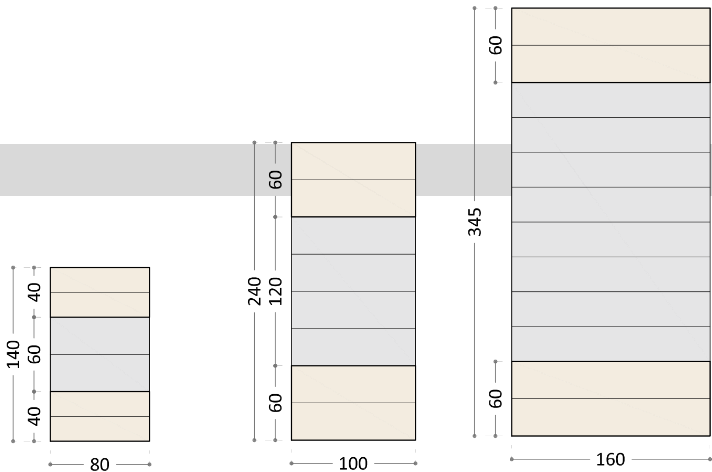
$$n = \frac{12600}{8400} = 1.5$$





## Ensayo validación

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



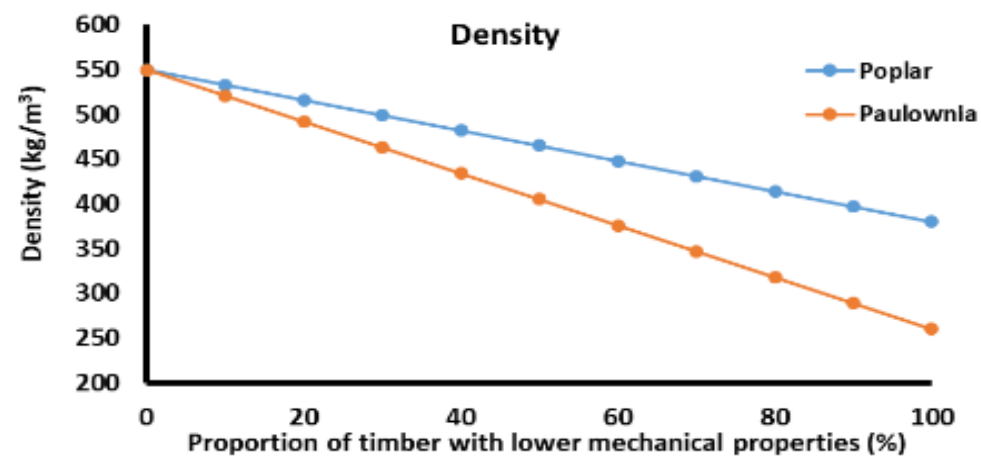
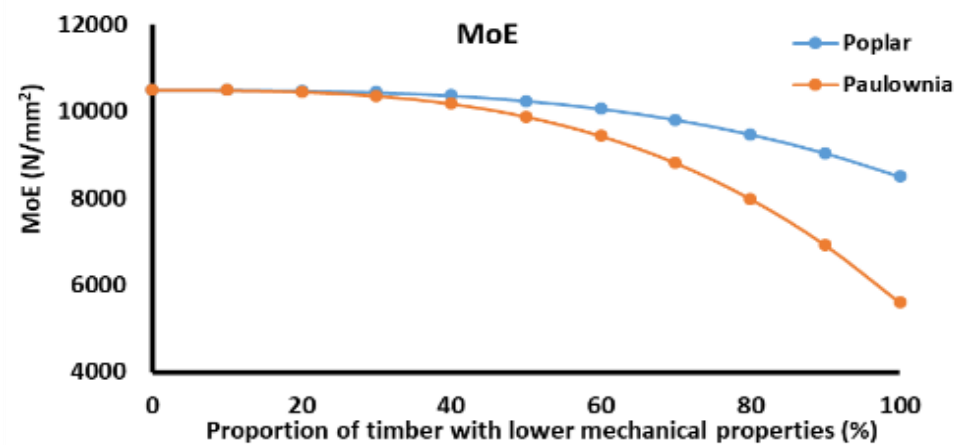
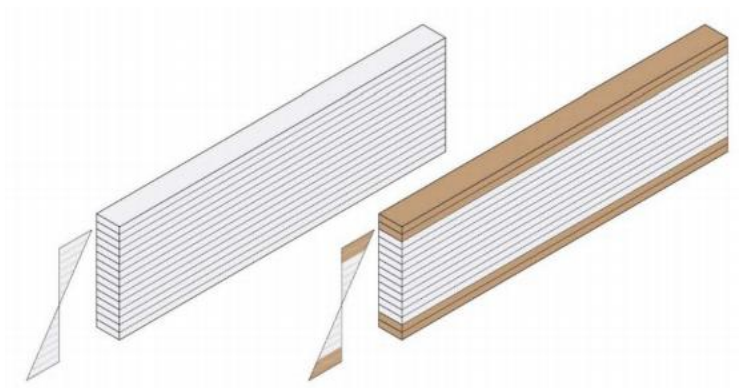
CP01 80x140 [40/60/40]  
- Longitud 3000mm

CP02 100x240 [60/120/60]  
- Longitud 3960mm

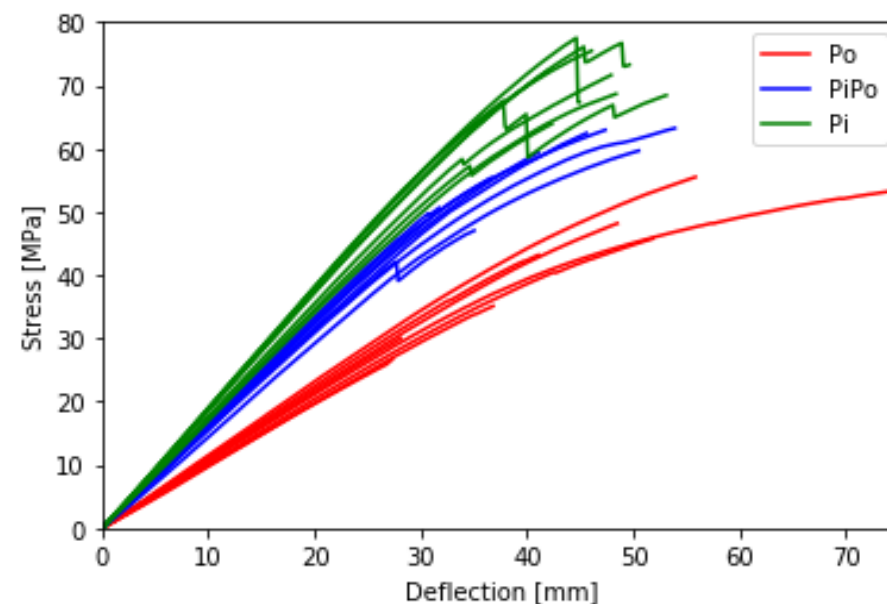
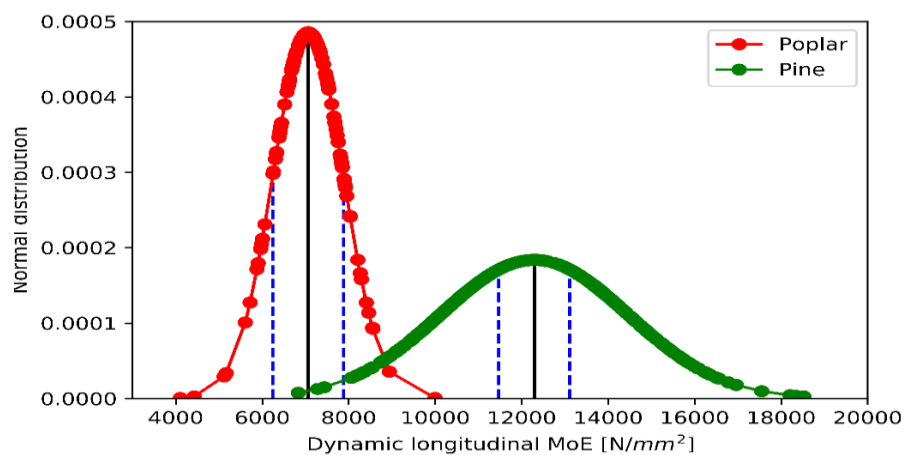
CP03 160x345 [60/225/60]  
- Longitud 6000mm







# Ensayos a Flexión



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











# DEMOSTRATIVOS VIVIENDA UNIFAMILIAR

OGIJARES (GRANADA)

Bonsai Arquitectos









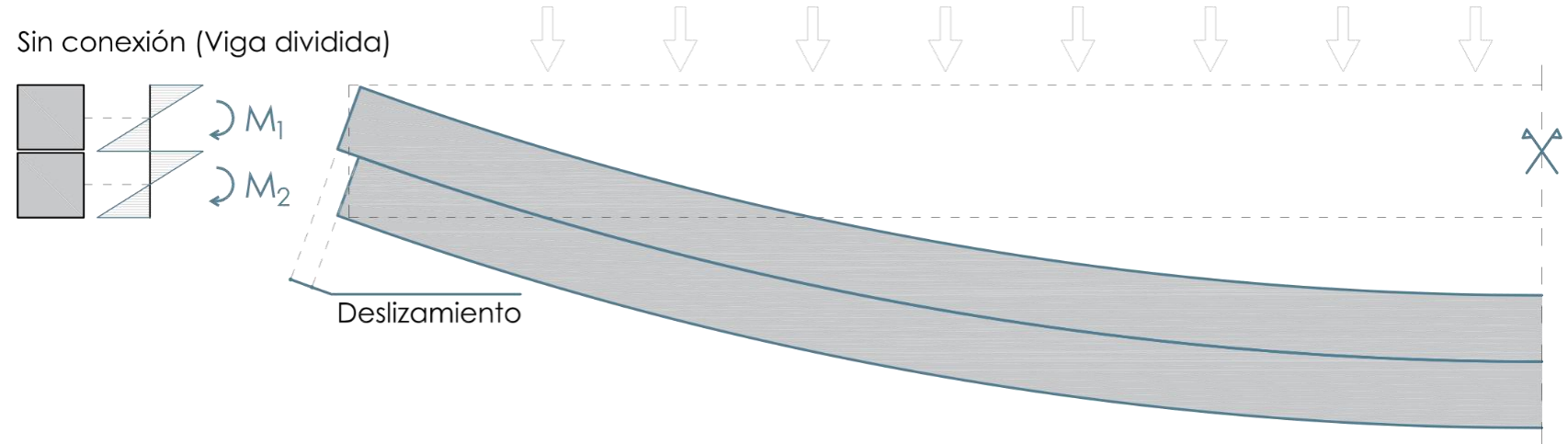
MCLam BS.

Concepto sección conectada

Ejemplo refuerzo  
con sección idéntica:

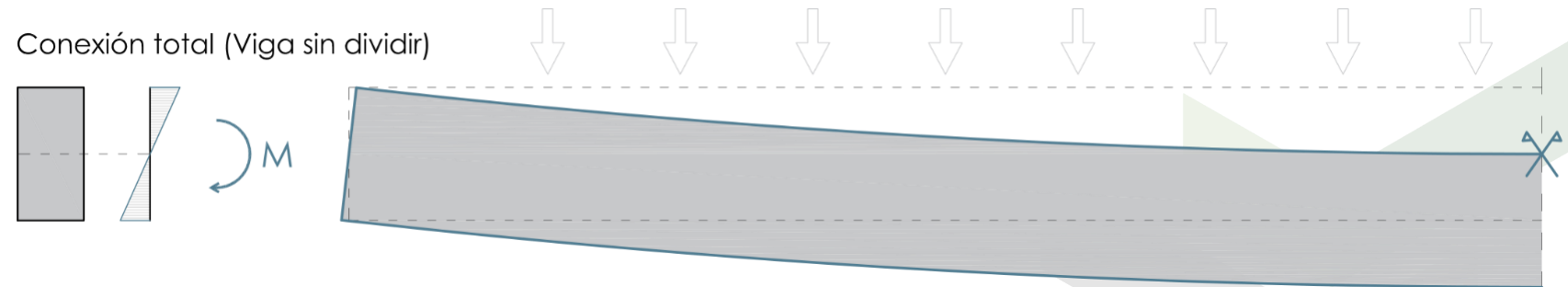
Opción sin conexión:

- Inercia x2 sección original
- Resistencia x2 sección original



Conexión total:

- Inercia x8 sección original
- Resistencia x4 sección original

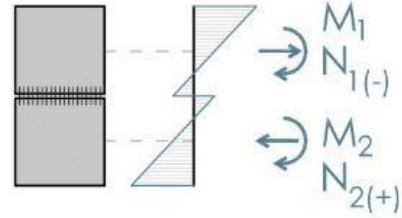


MCLam BS.

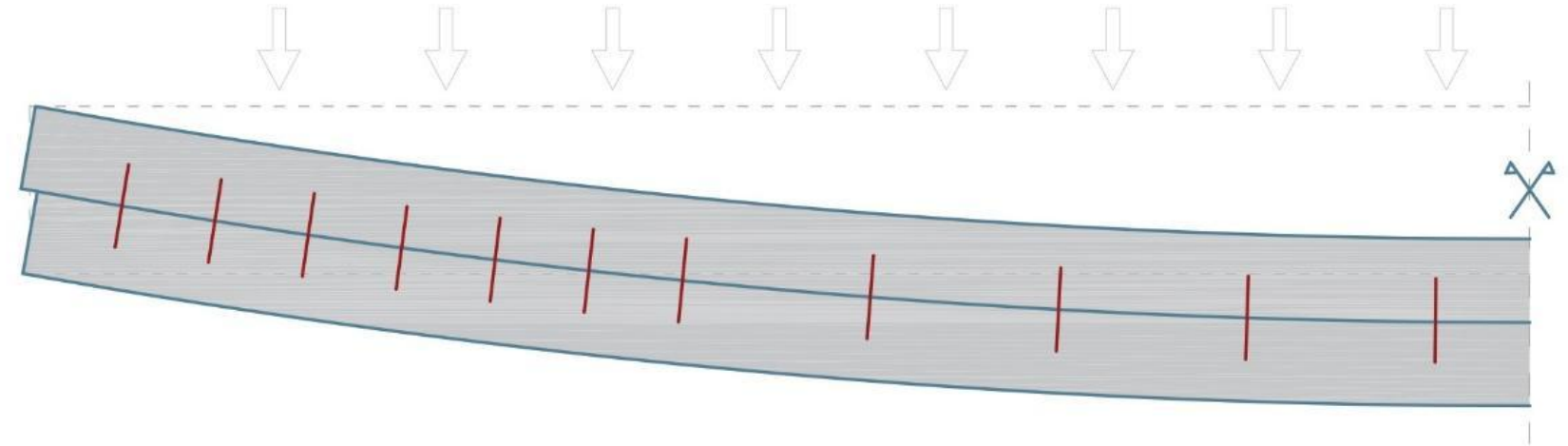
Concepto sección conectada

Ejemplo refuerzo con sección idéntica:

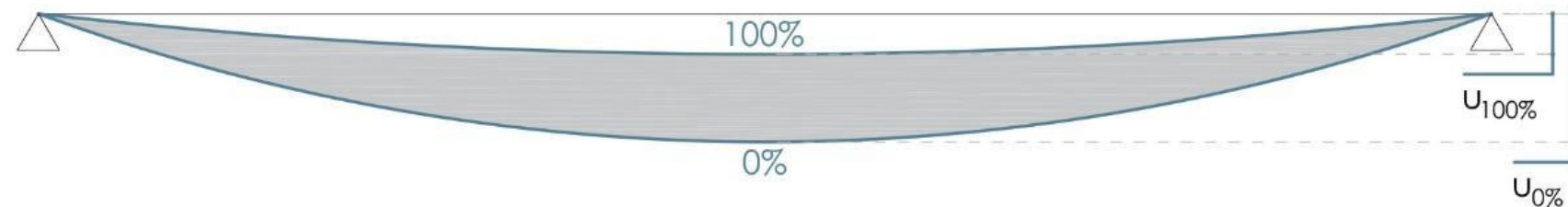
Conexión parcial



Conexión parcial



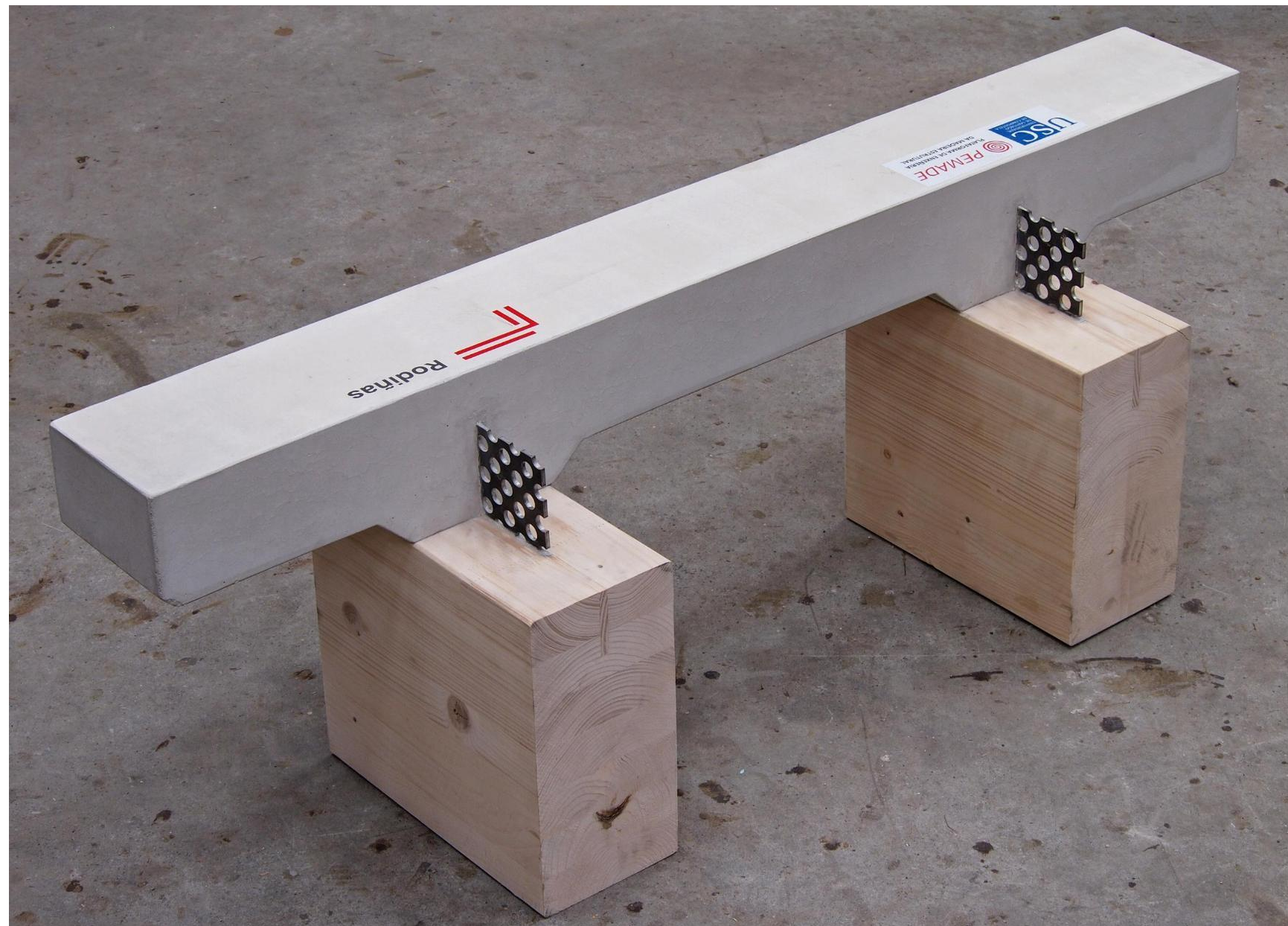
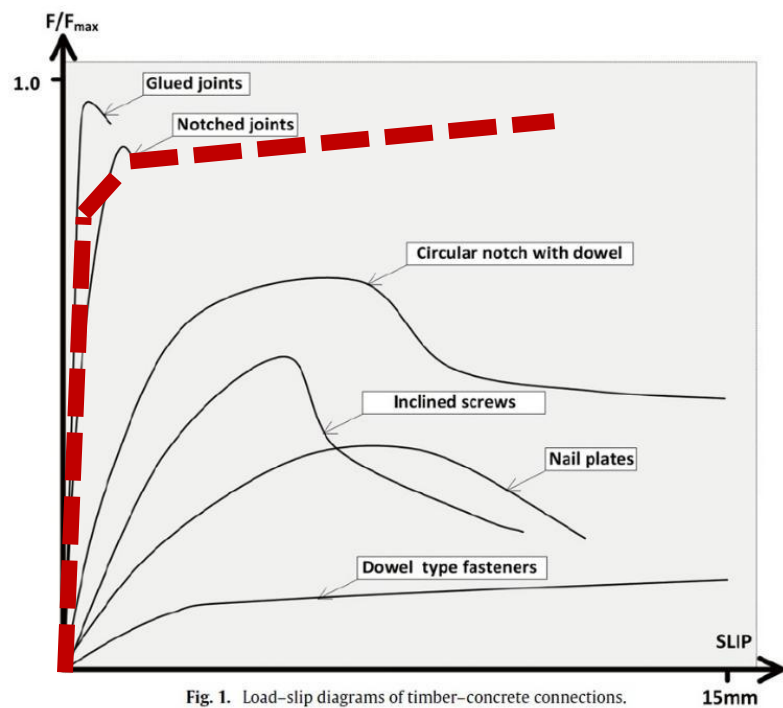
Deformación





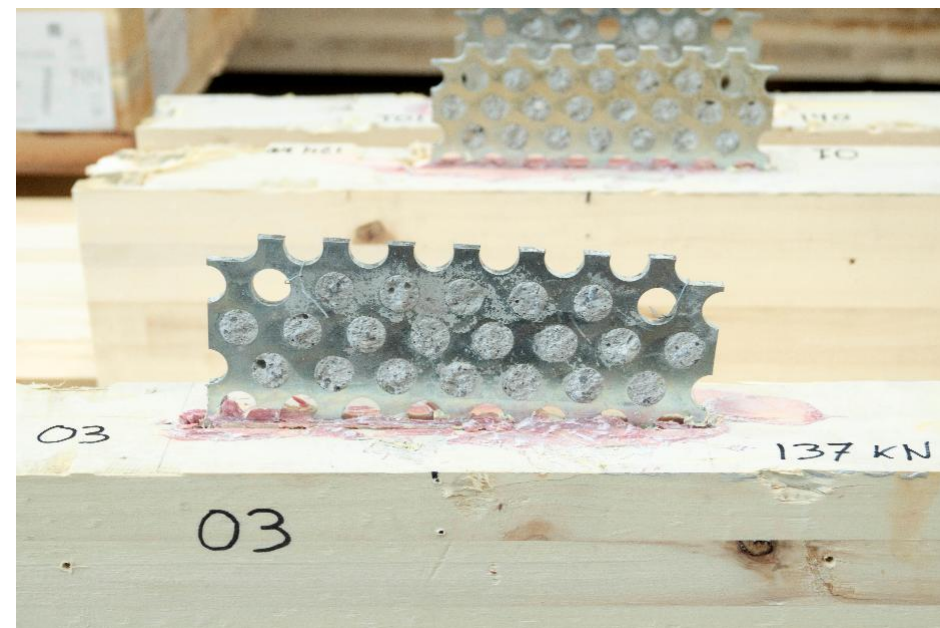
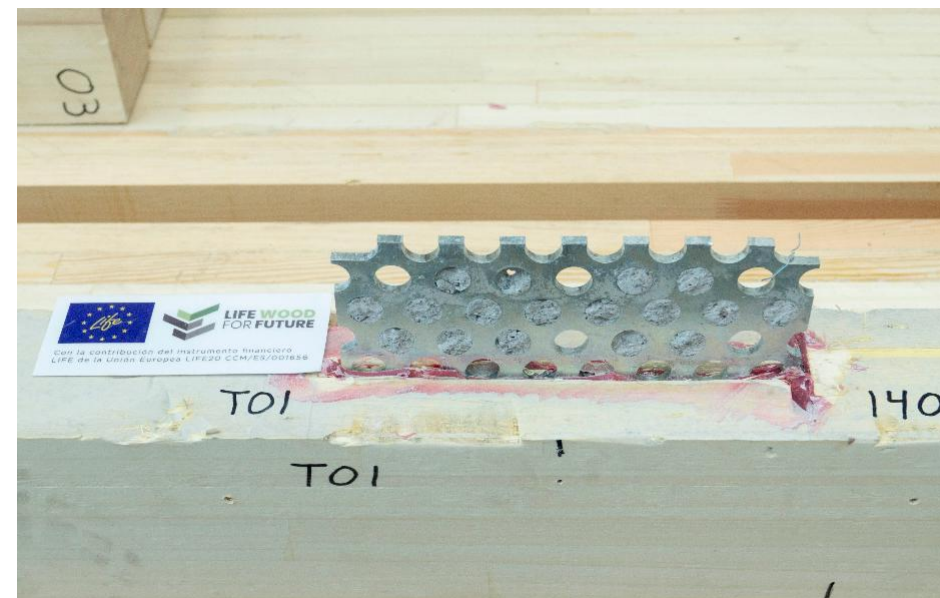
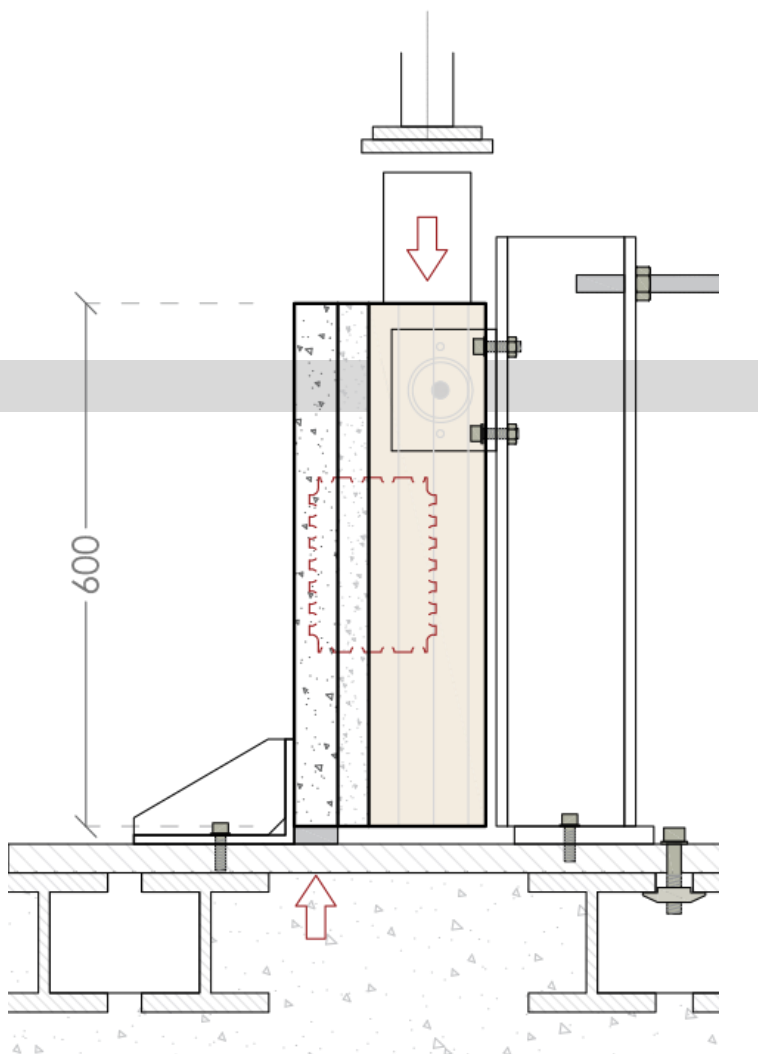
## Conexión

- Chapa perforada con resina epoxi



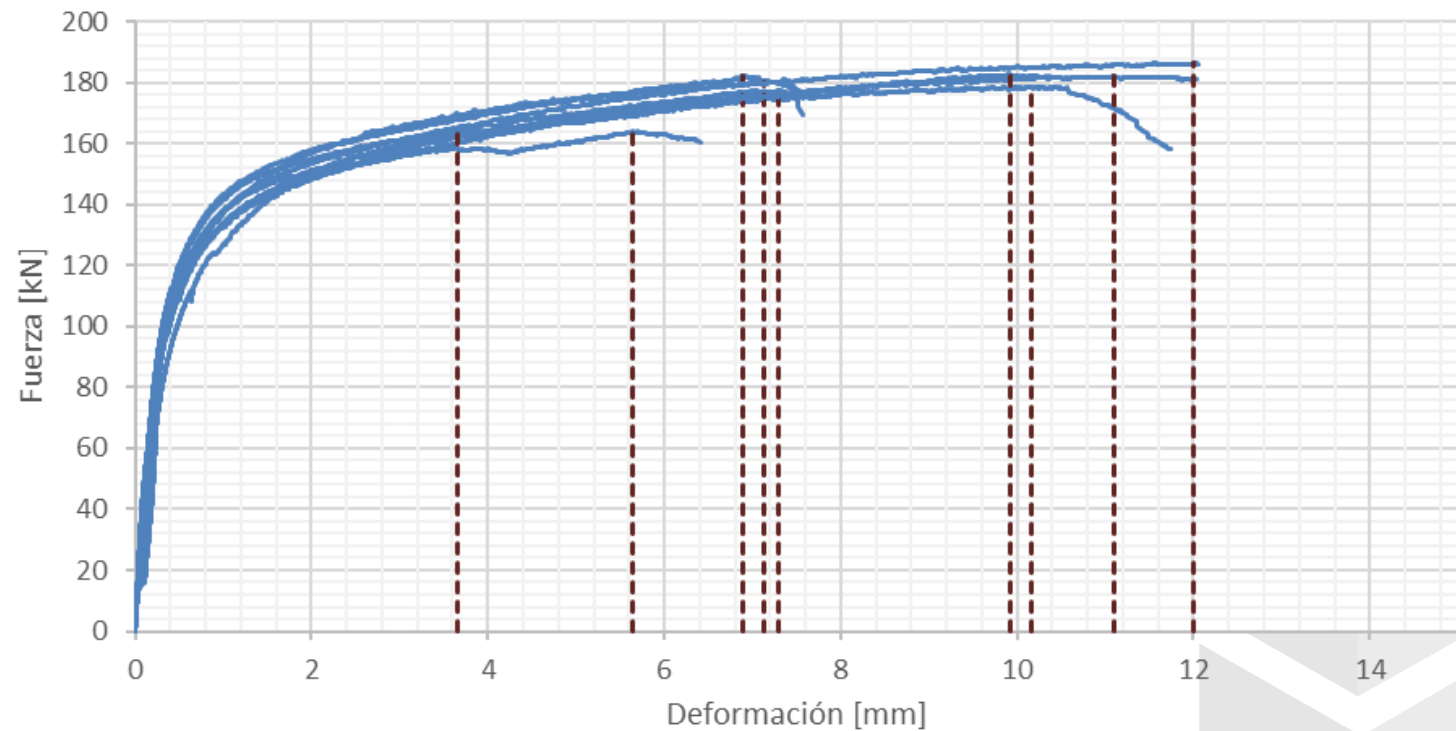
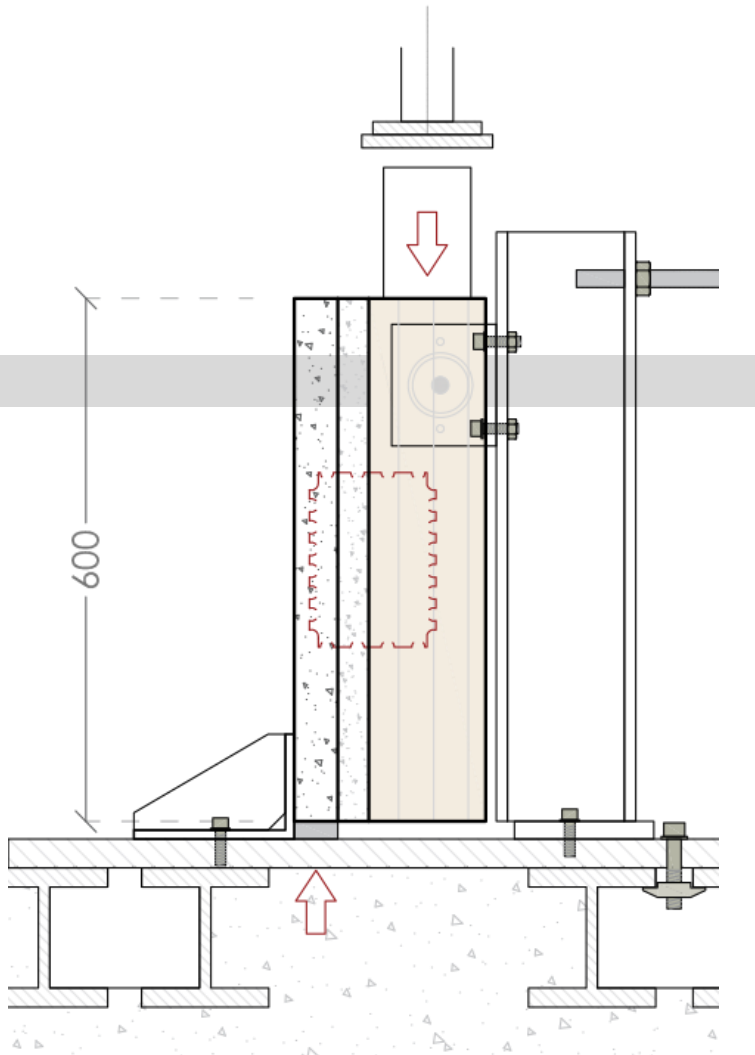


## Conexión Ensayo mecánico.



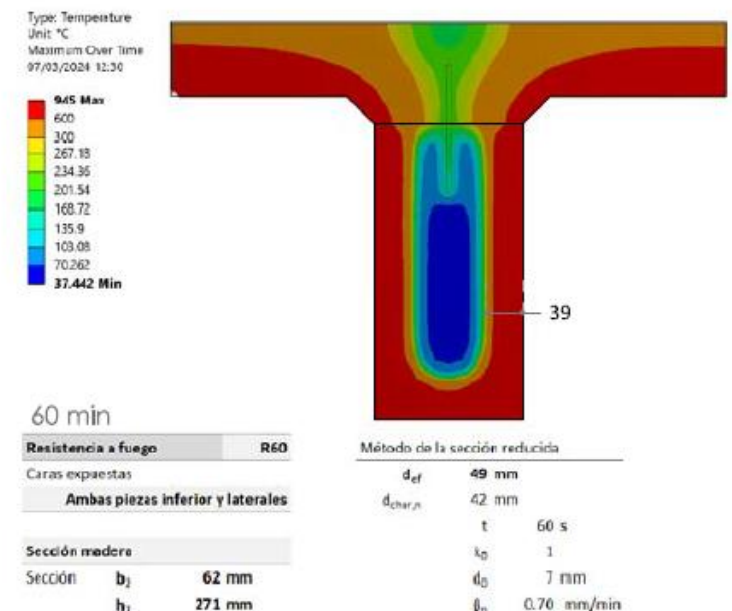
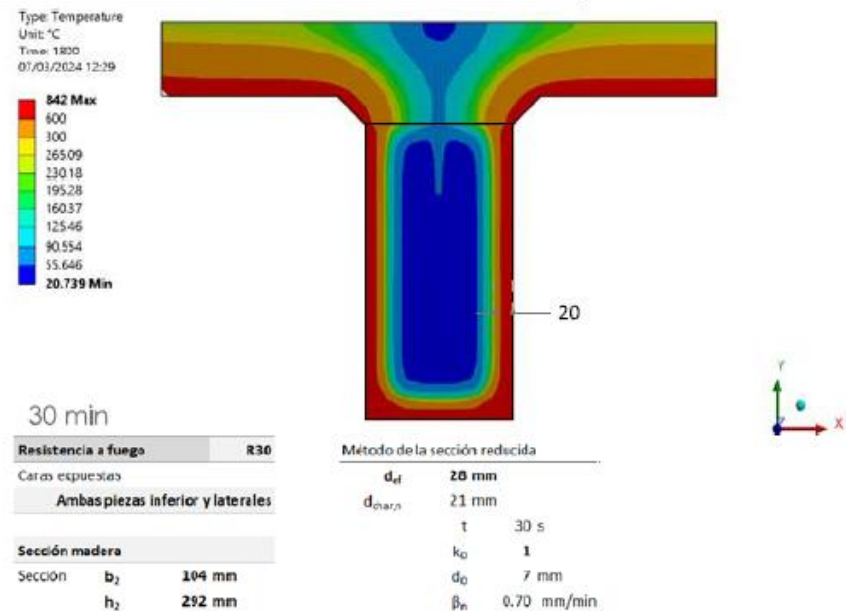


### Conexión Ensayo mecánico.

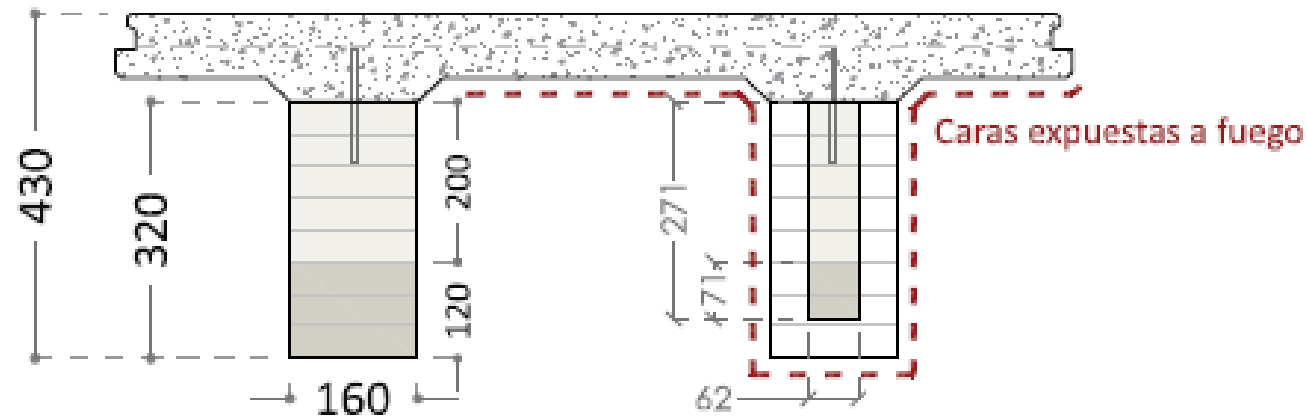
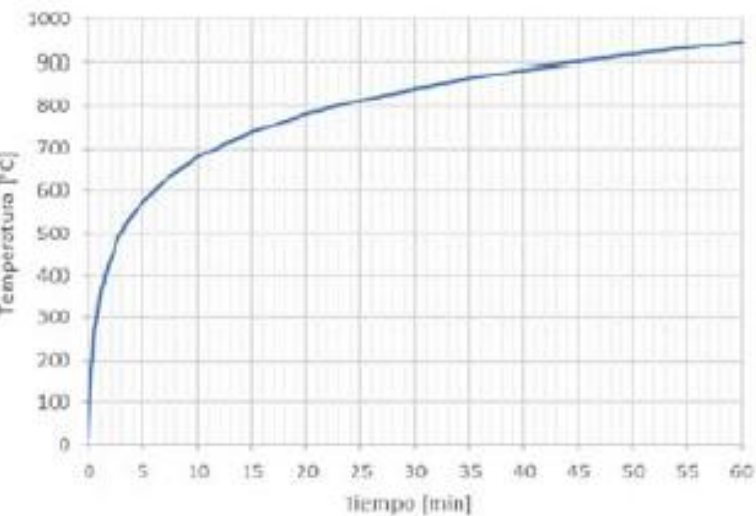


MCLam BS  
Situación de incendio

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



Curva temperatura ISO 834





### MCLam BS

#### Comparativa

- 6 metros de luz
- Carga uso público

#### Madera en 100 m<sup>2</sup>

[-76%]

- CLT 24.0 m<sup>3</sup>
- MCLamBS 5.6 m<sup>3</sup>

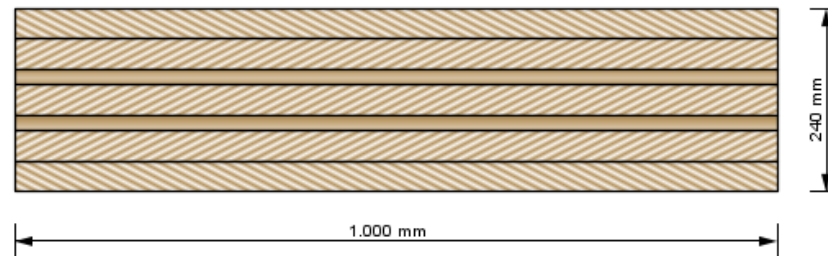
#### Material en 100 m<sup>2</sup>

[-40%]

- CLT 24.0 m<sup>3</sup>
- MCLamBS 14.3 m<sup>3</sup>

### CLT

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



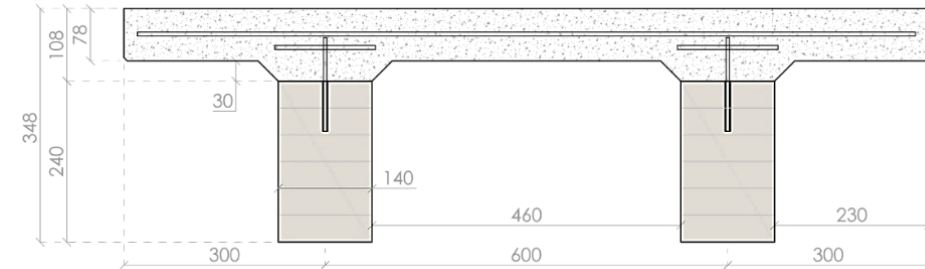
#### Material

- Madera: 0.24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>



### MCLamBS

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



#### Material

- Madera: 0.056 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>
- Hormigón: 0.087 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>
- Total: 0.143 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

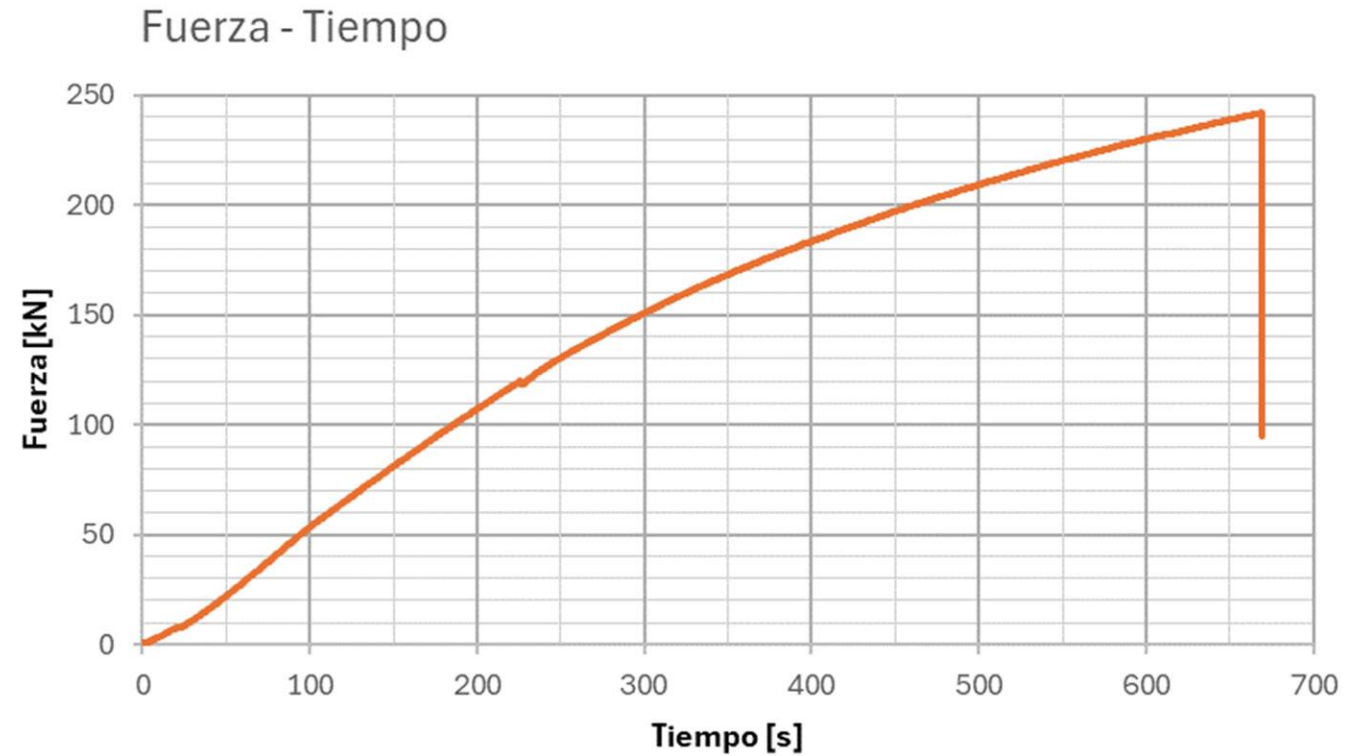




**ALTA RESISTENCIA Y RIGIDEZ A FLEXIÓN**



# ALTA RESISTENCIA Y RIGIDEZ A FLEXIÓN



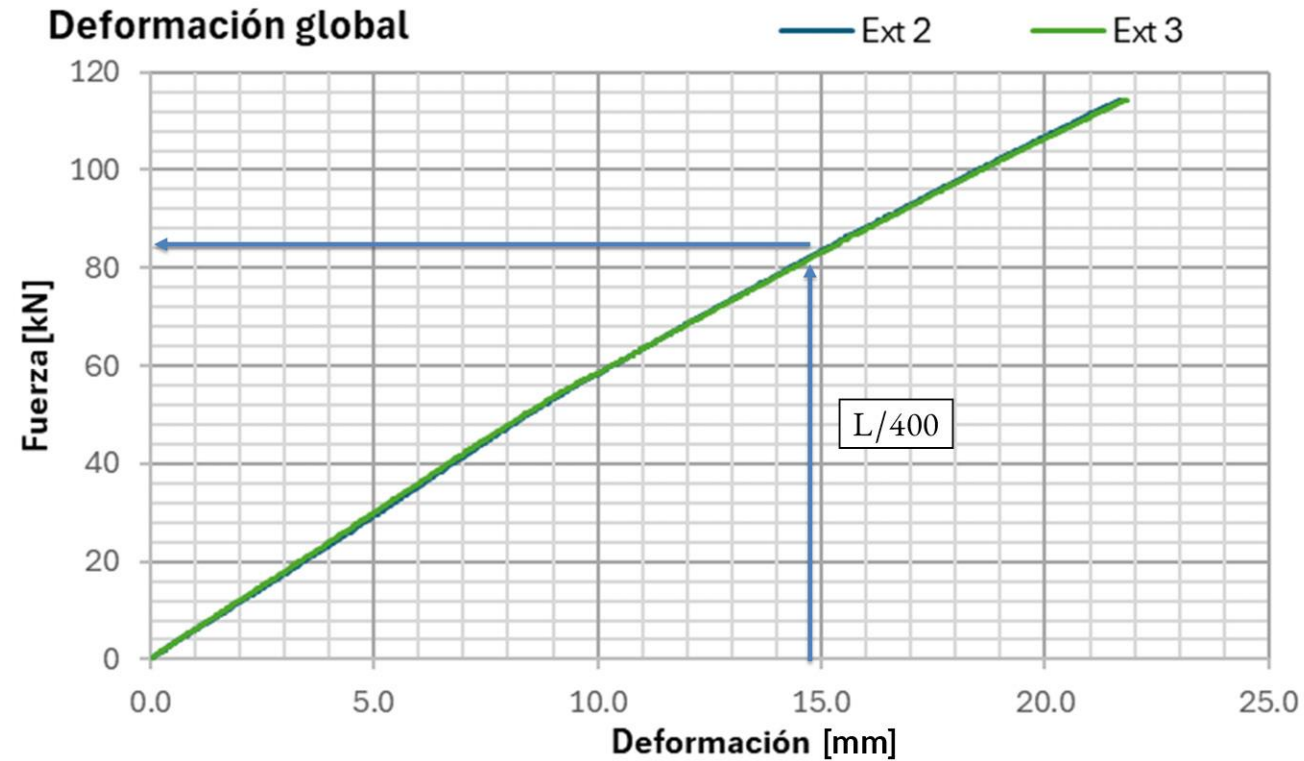
Luz de ensayo  
Distancia carga apoyo

$L = 5900 \text{ mm}$   
 $a = 1950 \text{ mm}$

Fuerza máxima  
Rigidez  
Momento flector máximo

$F_{\text{máx}} = 245.03 \text{ kN}$   
 $(EI)_{\text{ef}} = 21527 \text{ kN m}^2$   
 $M_{\text{máx}} = 244.41 \text{ kN m}$

# ALTA RESISTENCIA Y RIGIDEZ A FLEXIÓN



Luz de ensayo  
Distancia carga apoyo

$L = 5900 \text{ mm}$   
 $a = 1950 \text{ mm}$

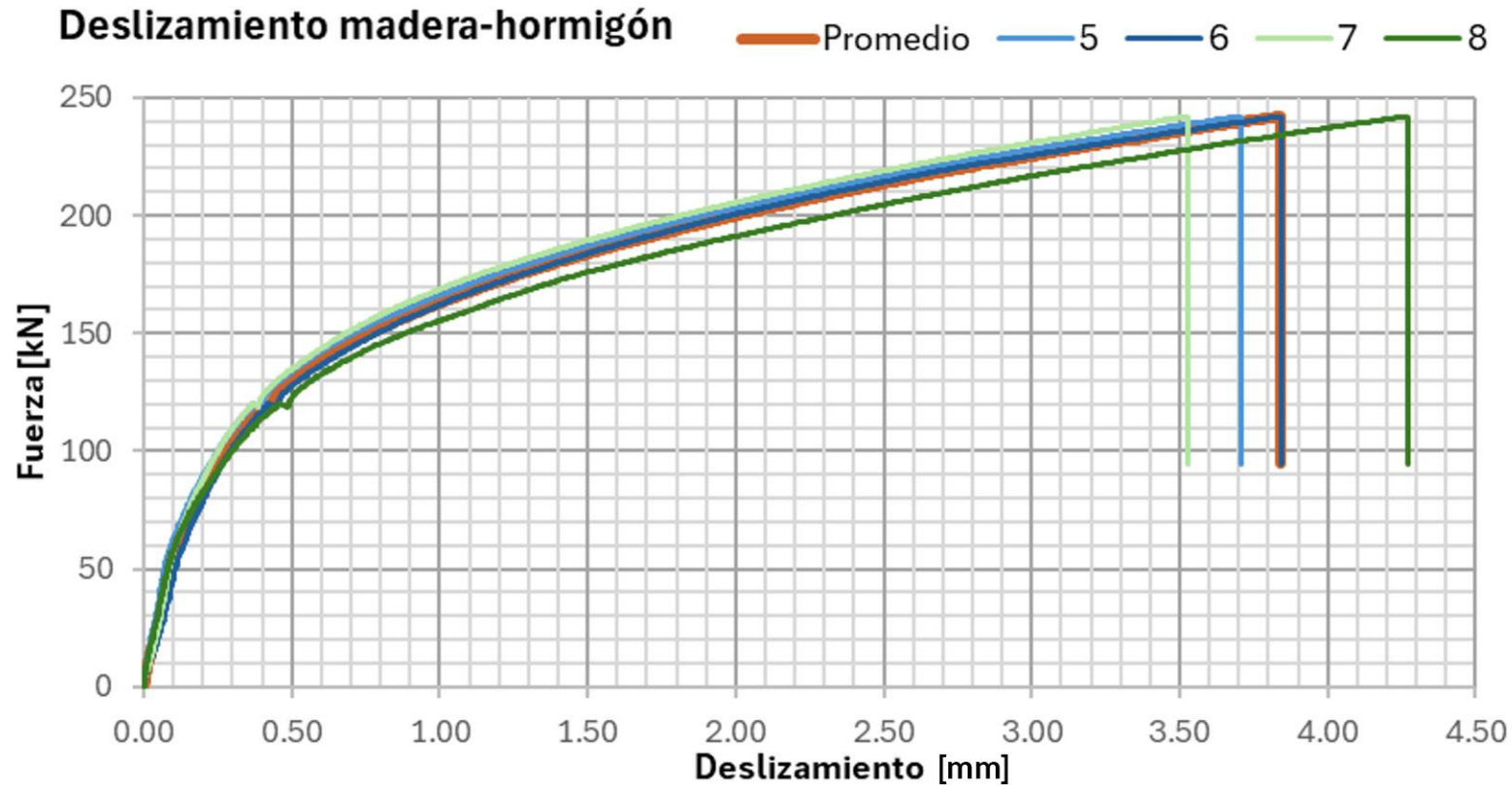
Fuerza máxima  
Rigidez  
Momento flector máximo

$F_{\text{máx}} = 245.03 \text{ kN}$   
 $(EI)_{\text{ef}} = 21527 \text{ kN m}^2$   
 $M_{\text{máx}} = 244.41 \text{ kN m}$





# 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)

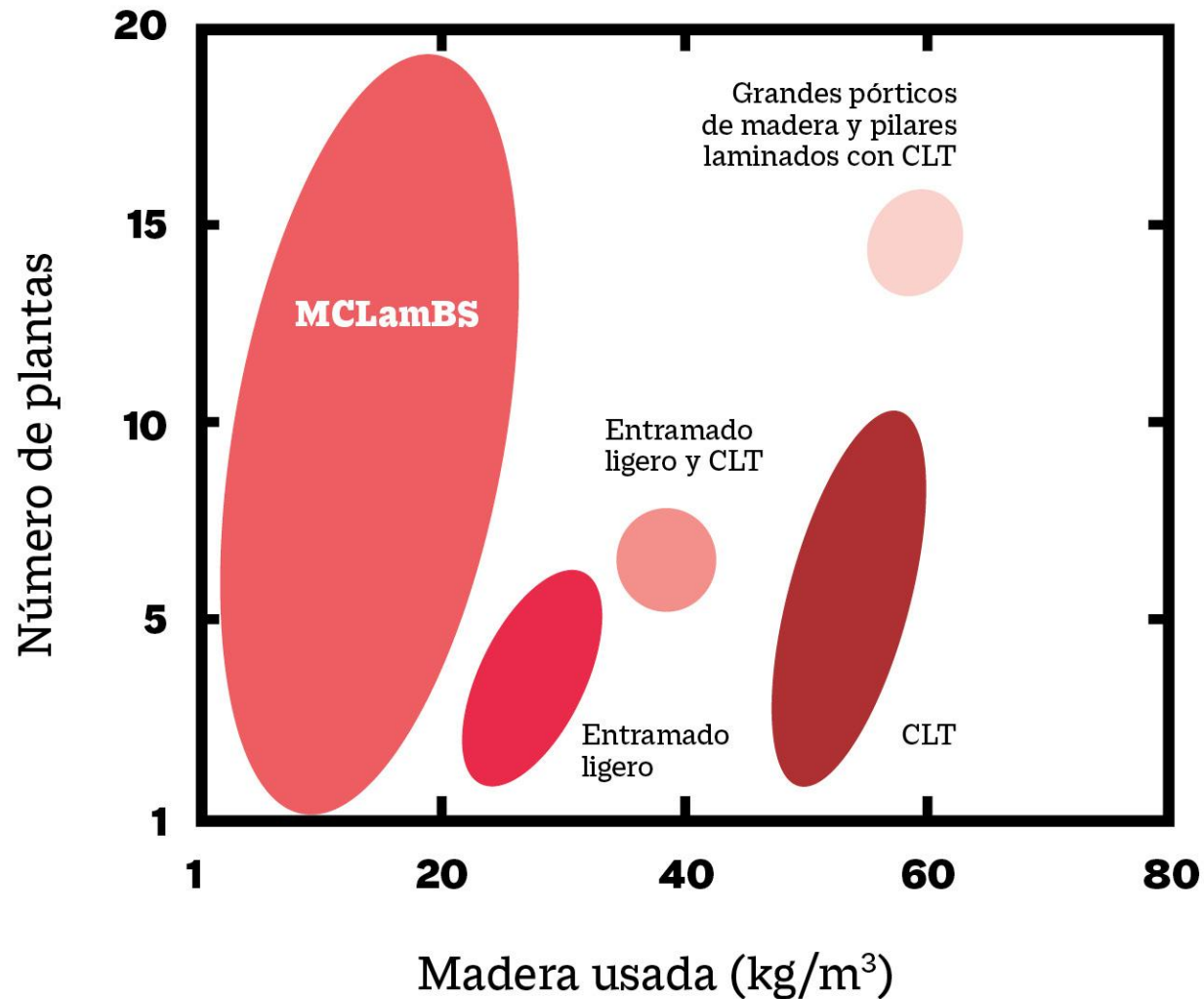








# NICHO DE USO



- ✓ **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

 <b>Peso</b>	 <b>Tiempo de ejecución</b>	 <b>Huella ambiental</b>
<b>40% más ligero</b> que un forjado de placa alveolar de hormigón	Similar a un forjado de placa alveolar de hormigón	<b>Descenso del 70%</b> de las emisiones de CO2 respecto de un forjado de placa alveolar de hormigón
<b>25% más ligero</b> que un forjado unidireccional de hormigón hecho in situ	<b>65% menor</b> que un forjado unidireccional de hormigón hecho in situ	<b>Descenso del 43%</b> 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**”



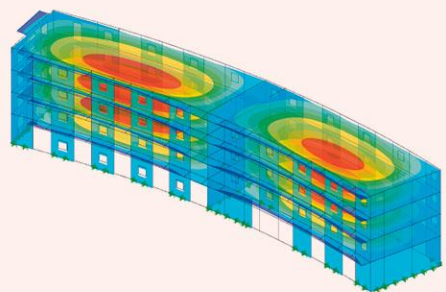
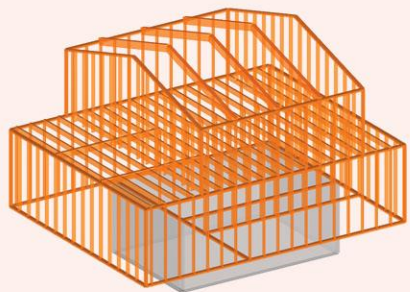
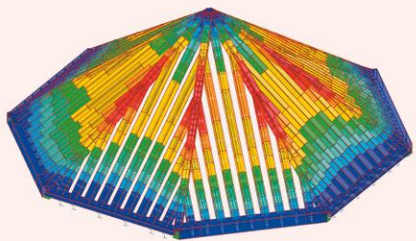
[www.iberolam.com](http://www.iberolam.com)



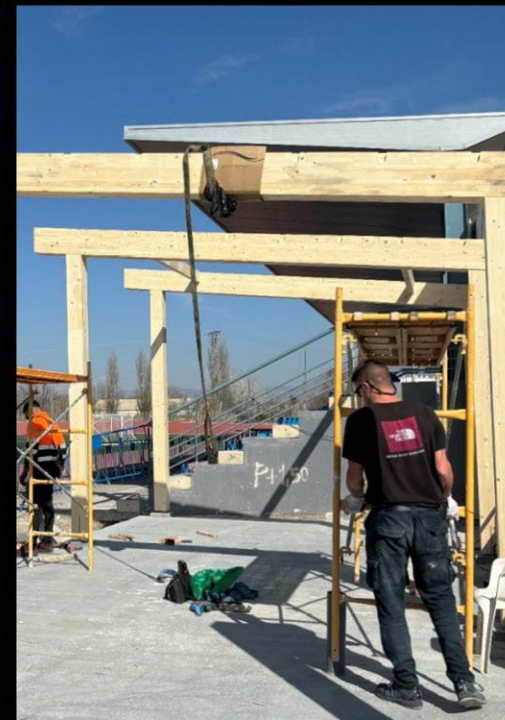








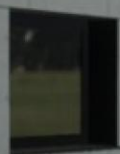
# CÁLCULO, MODELADO ESTRUCTURAL Y MONTAJE







**IBEROLAM**  
Timber & Technology





# IBEROLVM

Timber & Technology

## CONTÁCTANOS

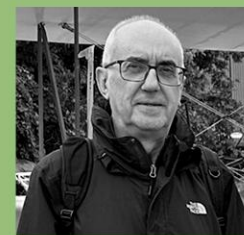
Edificio Florentino García Sánchez  
Vivero de Empresas de la Universidad de Granada.  
C/ Gran Vía de Colón 48, Planta 5, D5-06

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

info@iberolam.com

[www.iberolam.com](http://www.iberolam.com)





LIFE WOOD  
FOR FUTURE







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-Univesidade 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:

