

# I Jornadas LIGNOMAD

Barcelona 20 y 21 de junio 2016

## Estrategias para el modelado de uniones estructurales mecánicas de madera

*J.M. Cabrero, B. Iraola, B. Gil*

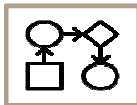
Red para el impulso de la madera y otros materiales lignocelulósicos  
en el sector de la construcción



El problema



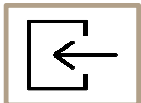
Una solución posible



Algoritmo para el material madera



Verificación



Técnicas adicionales para el modelado de uniones



Modelado del contacto



Elementos cohesivos



Resultados y conclusiones

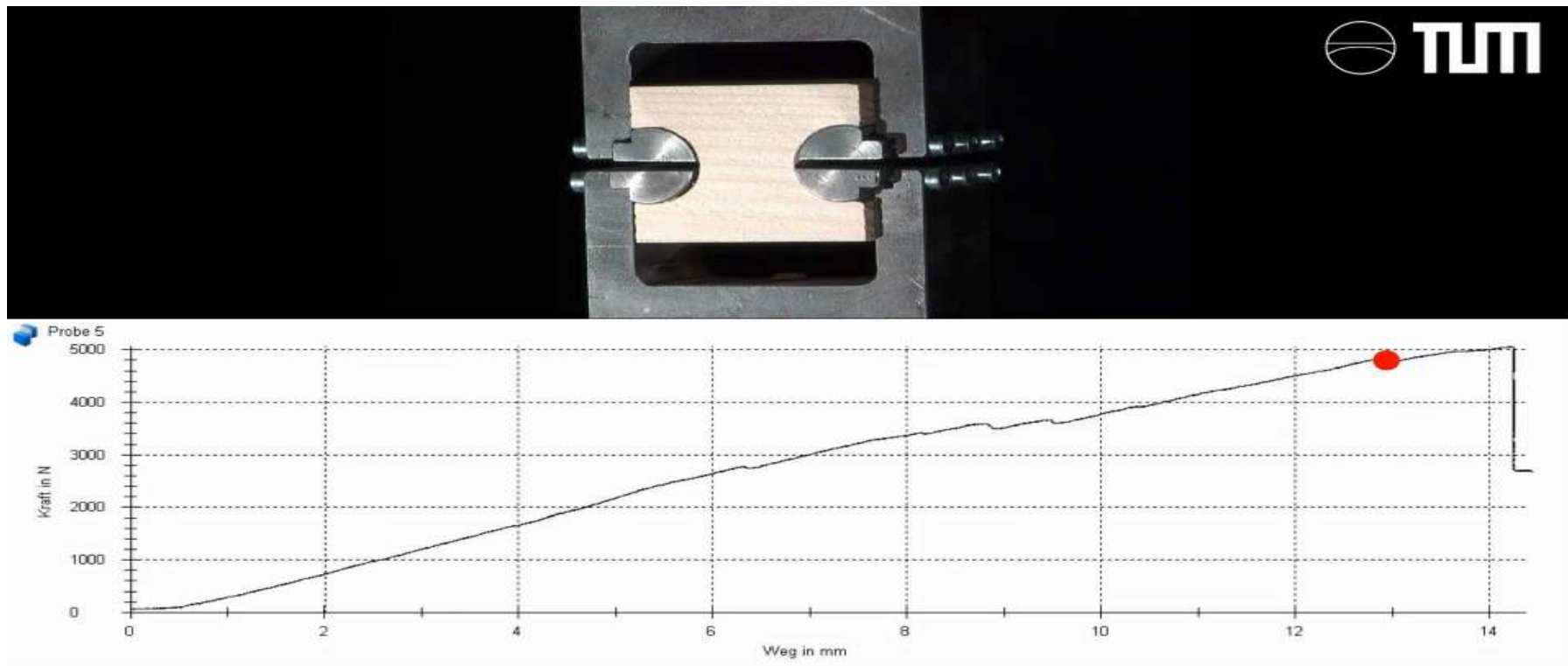


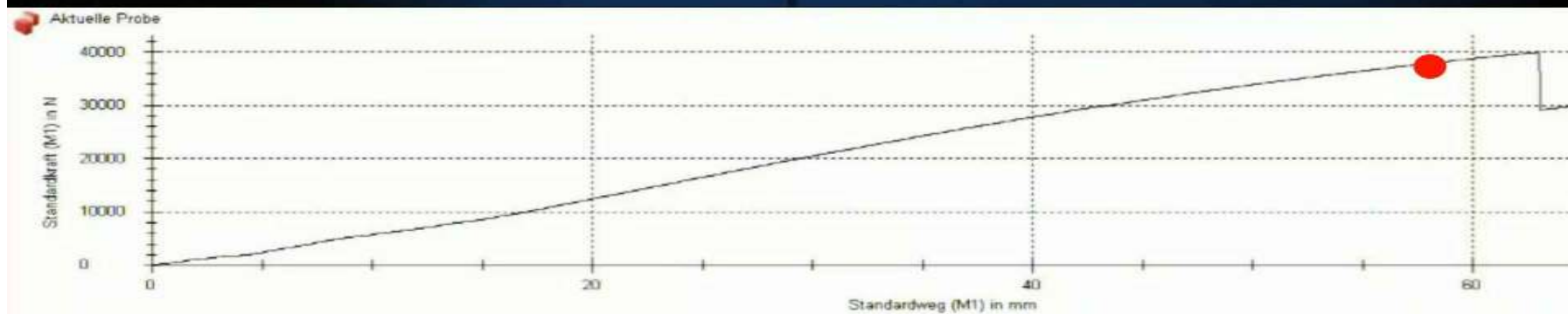
Universidad  
de Navarra

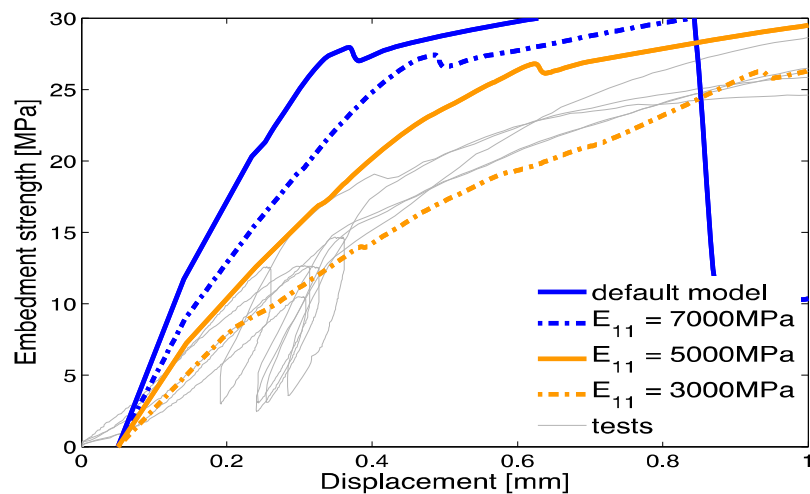
CÁTEDRA  
MADERA

I Jornadas **LIGNOMAD**  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

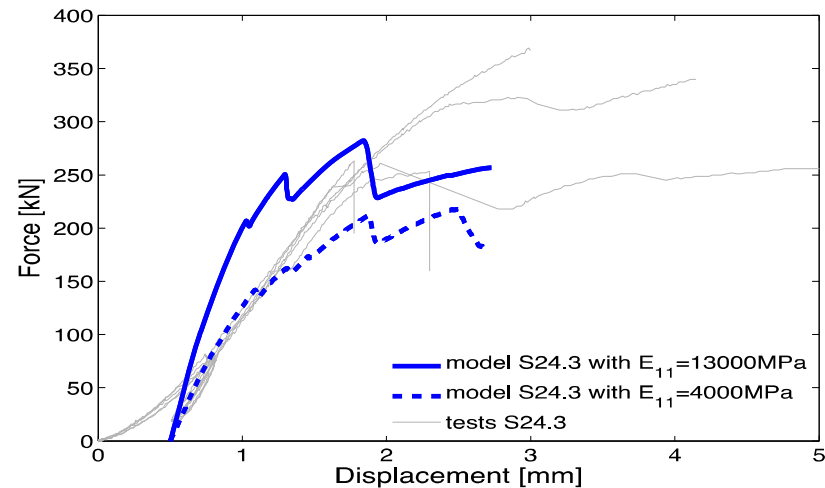
El problema







**Ensayo de aplastamiento en Picea Abies,  
pasador de 24 mm.**



**Unión con tres pasadores de 24 mm de  
diámetro en Picea Abies**

Sandhaas, C. (2012). *Mechanical Behaviour of Timber Joints With Slotted-in Steel Plates*. Tesis doctoral. Universidad de Delft.



Universidad  
de Navarra

CÁTEDRA  
MADERA

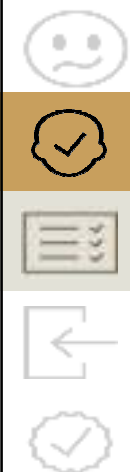
I Jornadas **LIGNOMAD**  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

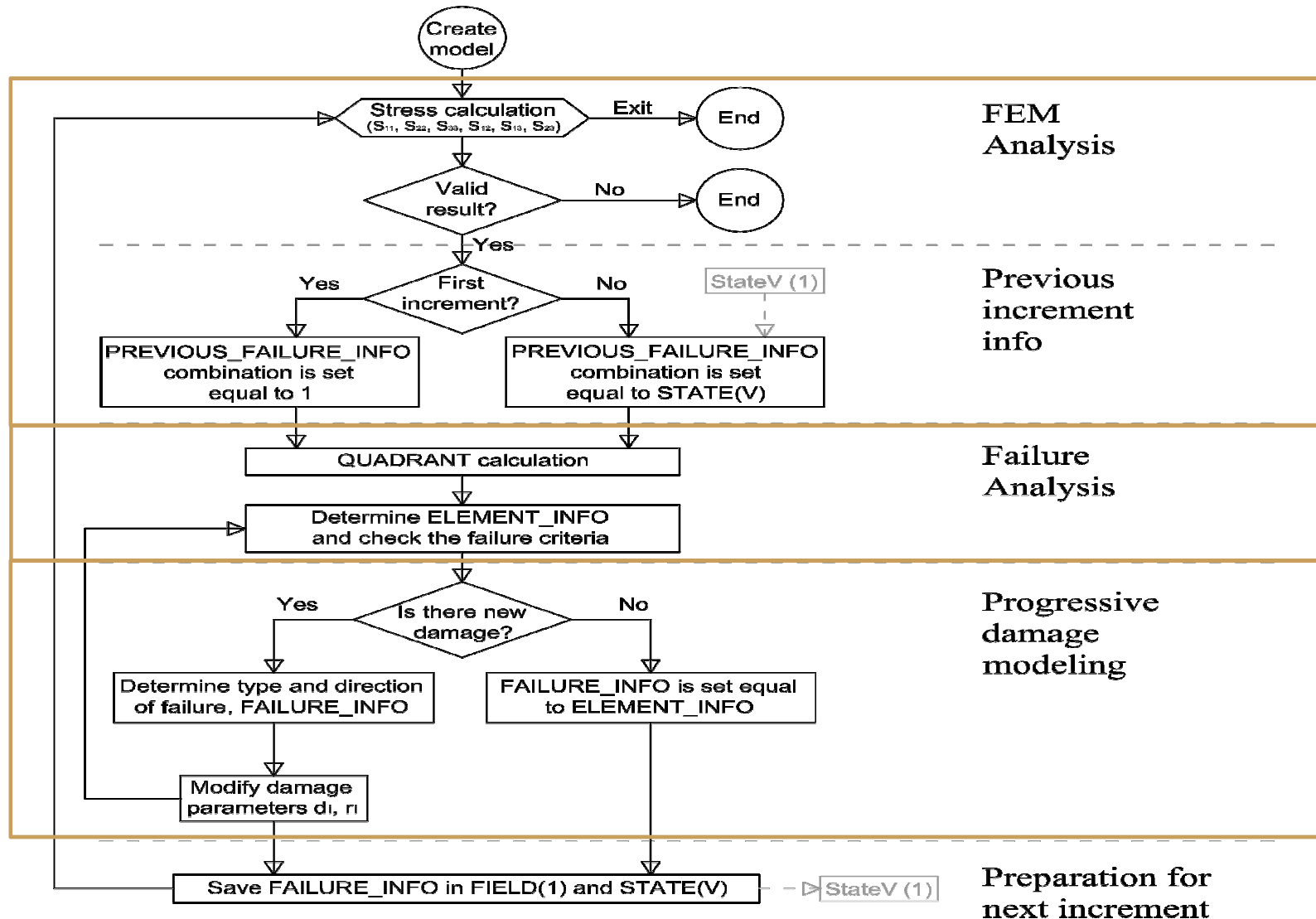
# Una solución posible

## Modelo del material “madera”



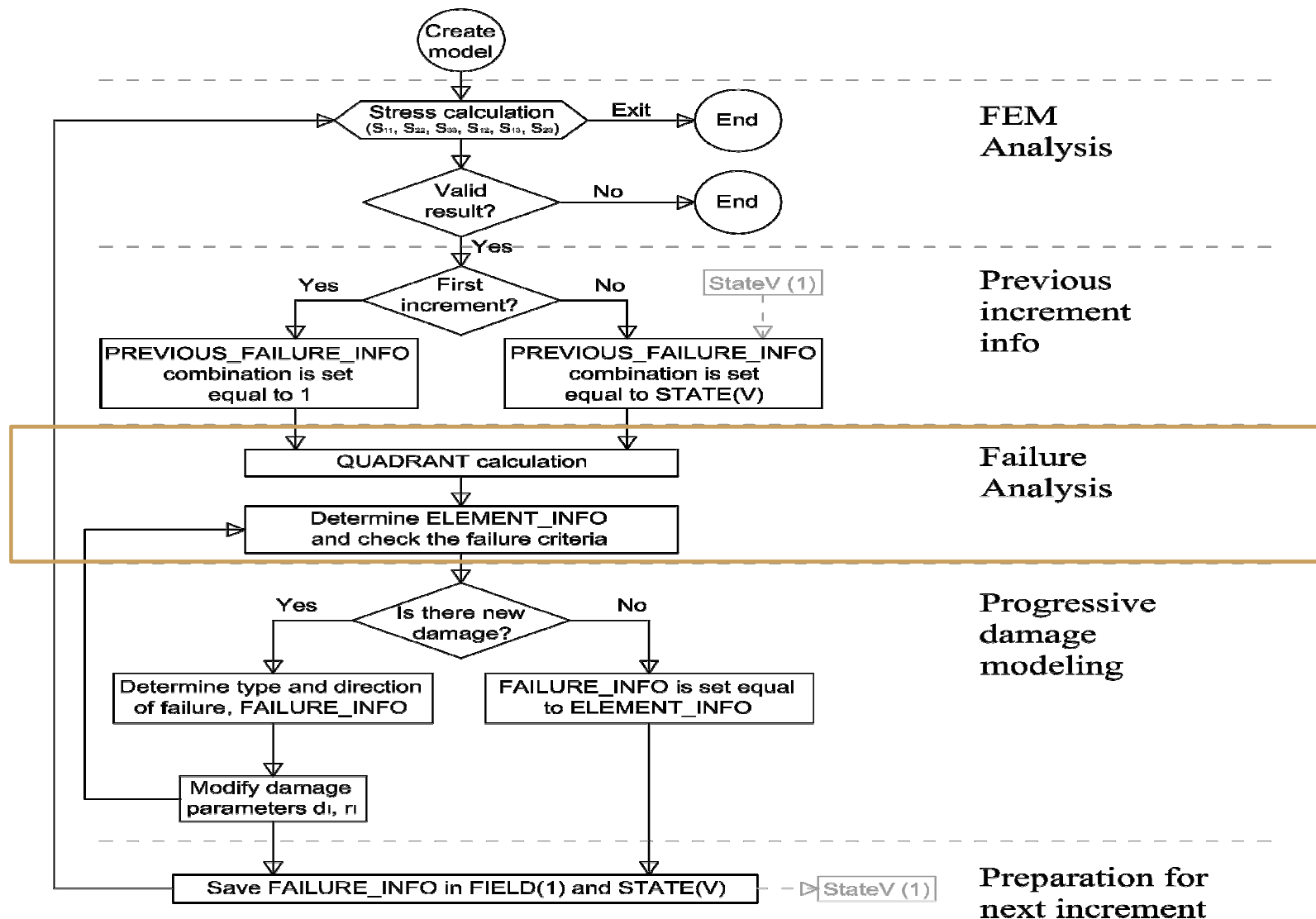
Una solución posible    Modelo del material “madera”





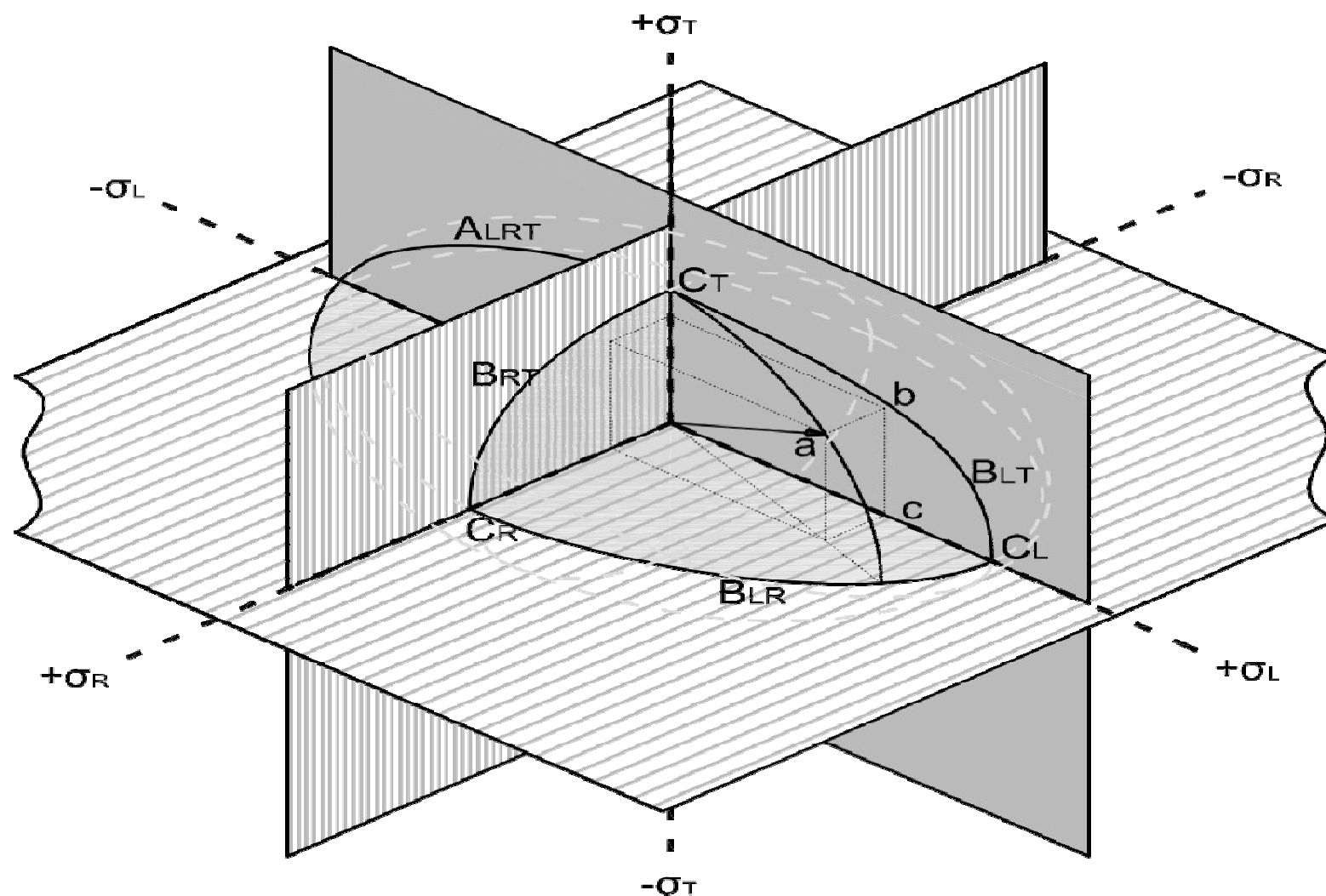
Modelo del material "madera" Visión general





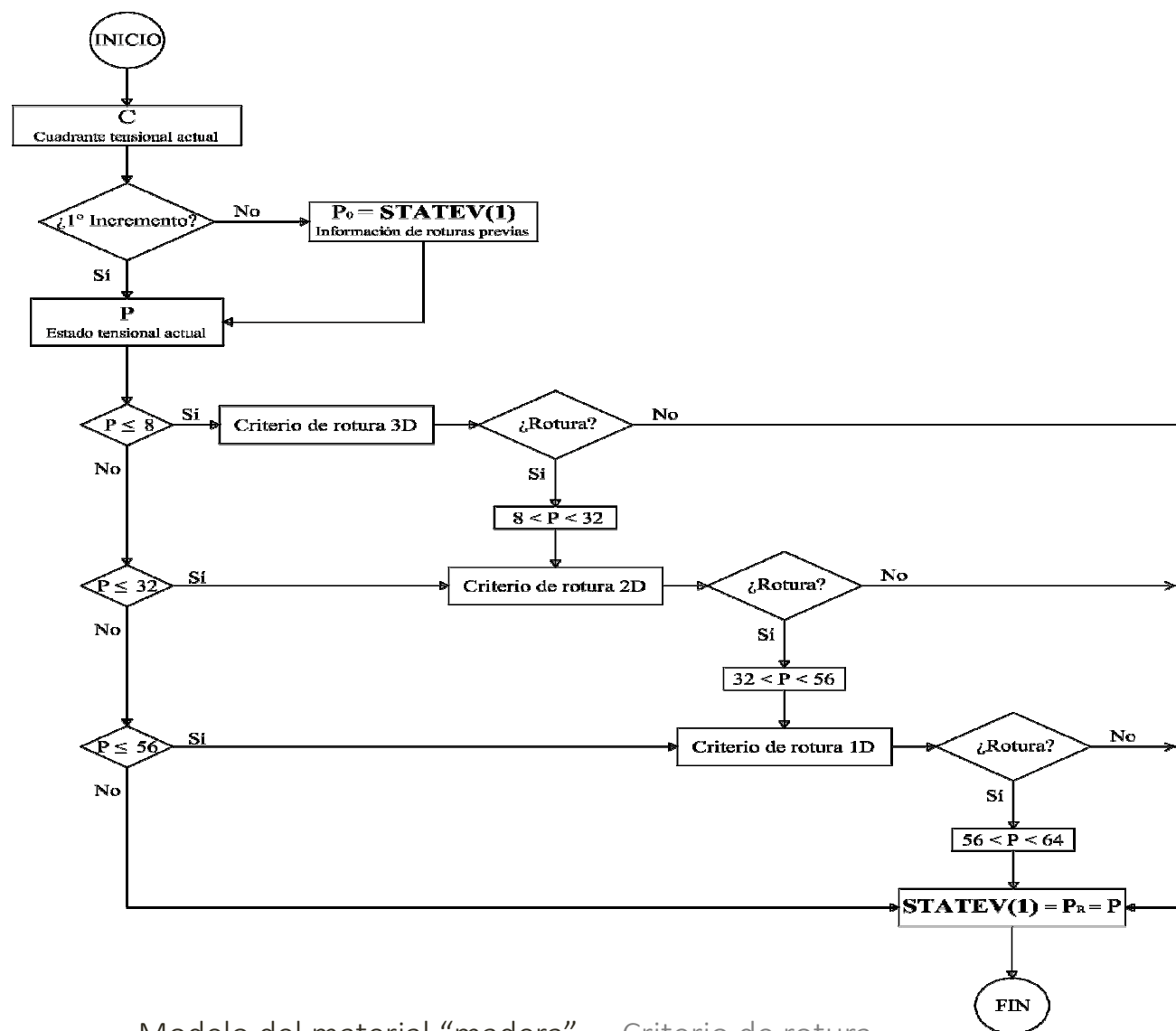
Modelo del material "madera" Visión general





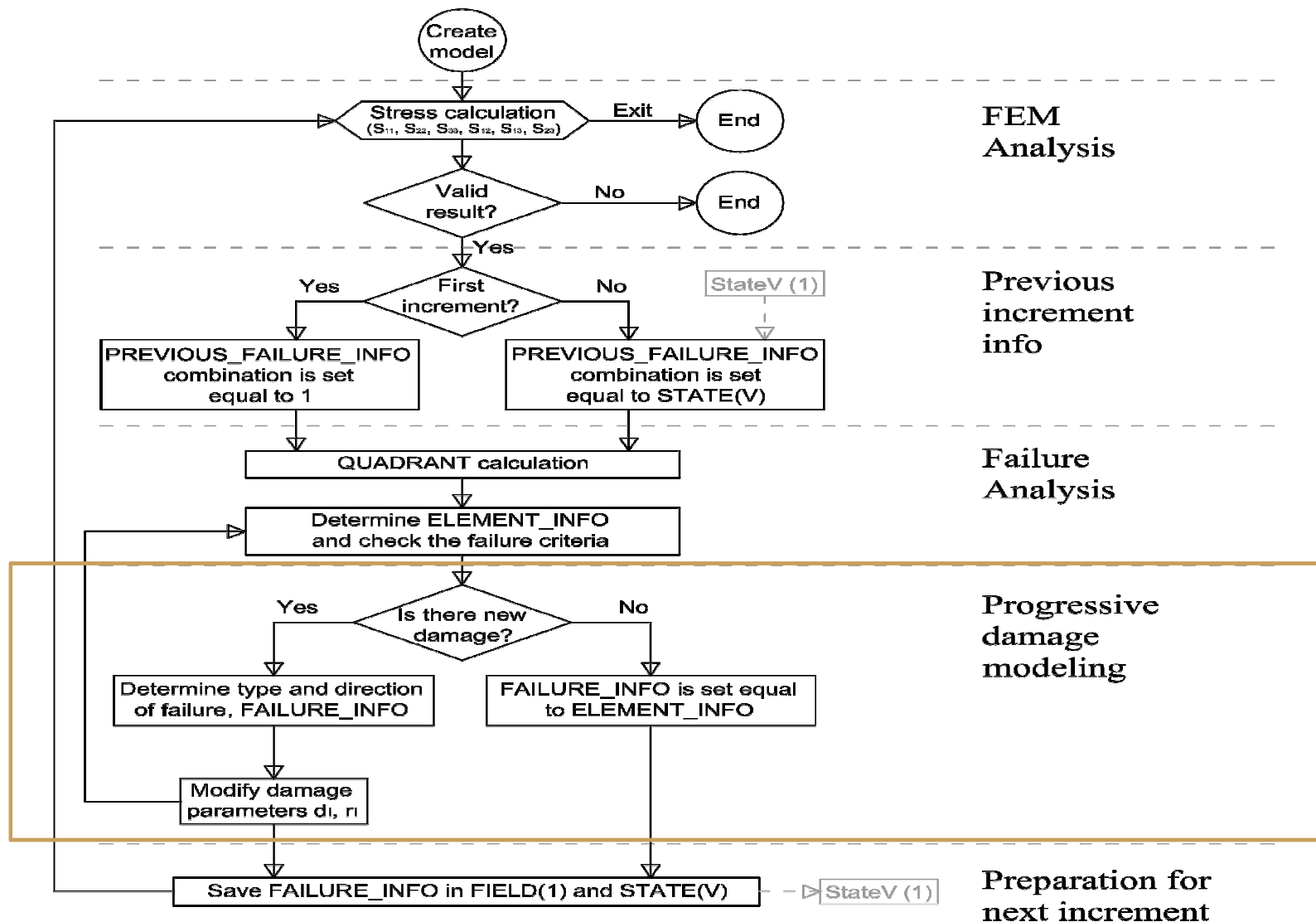
Modelo del material "madera" Criterio de rotura





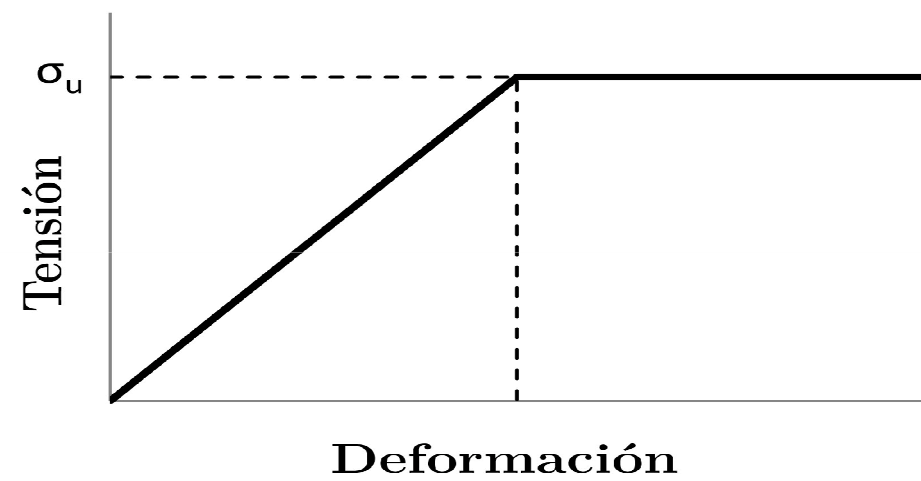
Modelo del material "madera" Criterio de rotura

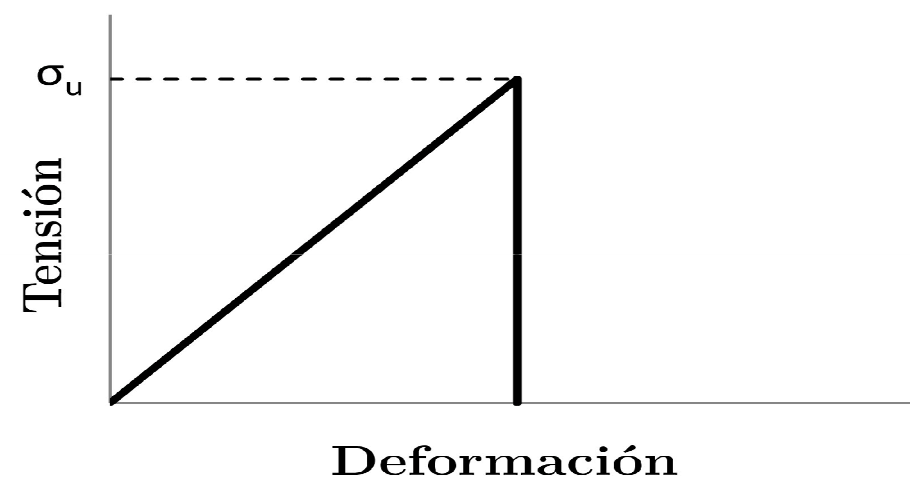
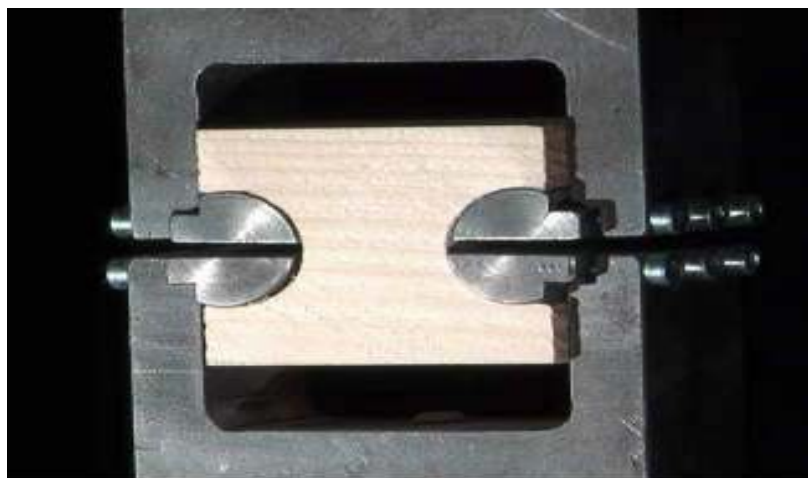




Modelo del material "madera" Visión general

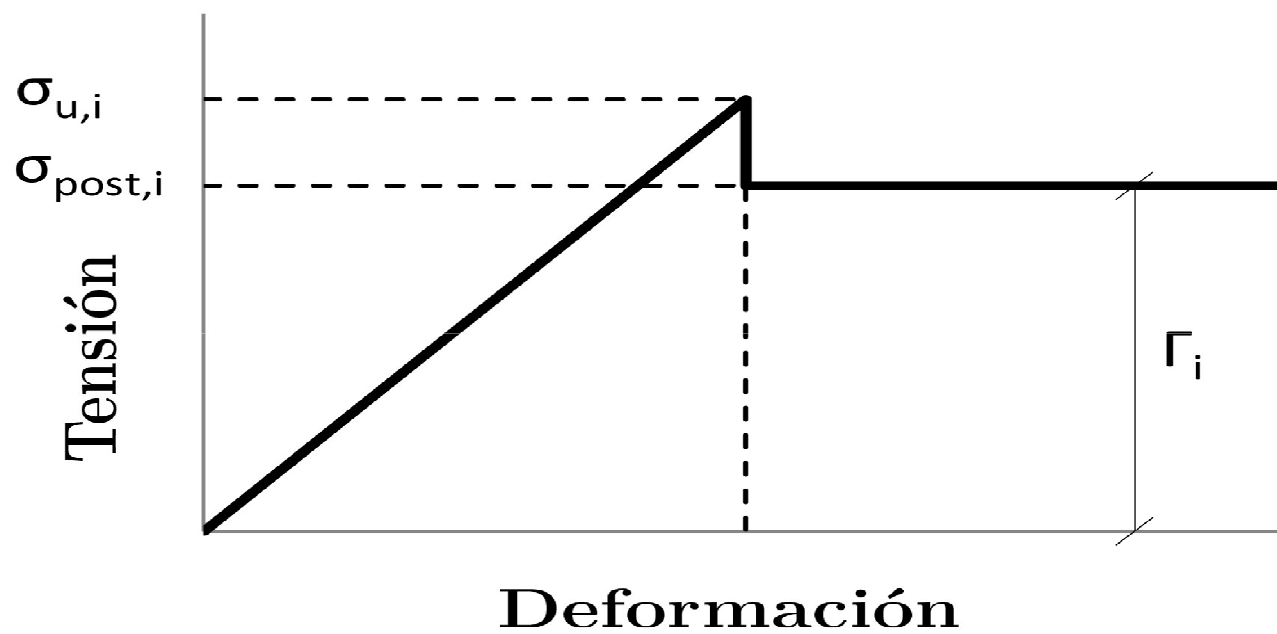


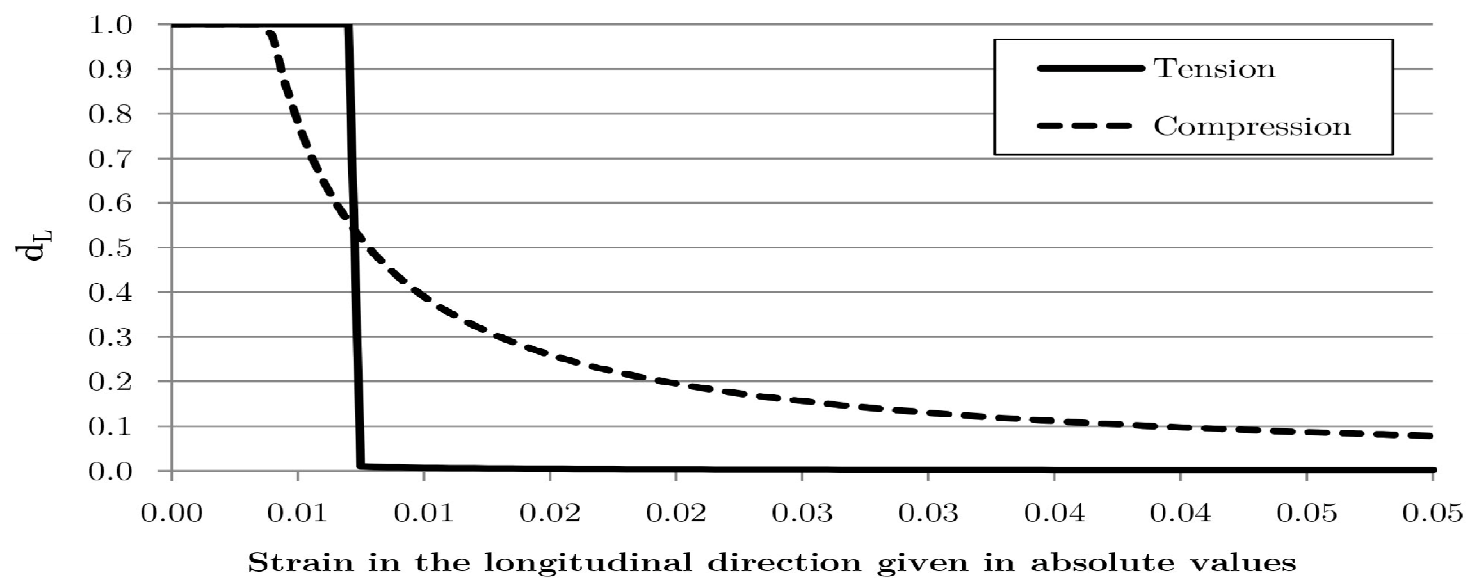




Modelo del material “madera” Rotura frágil







Modelo del material "madera" Evolución del daño

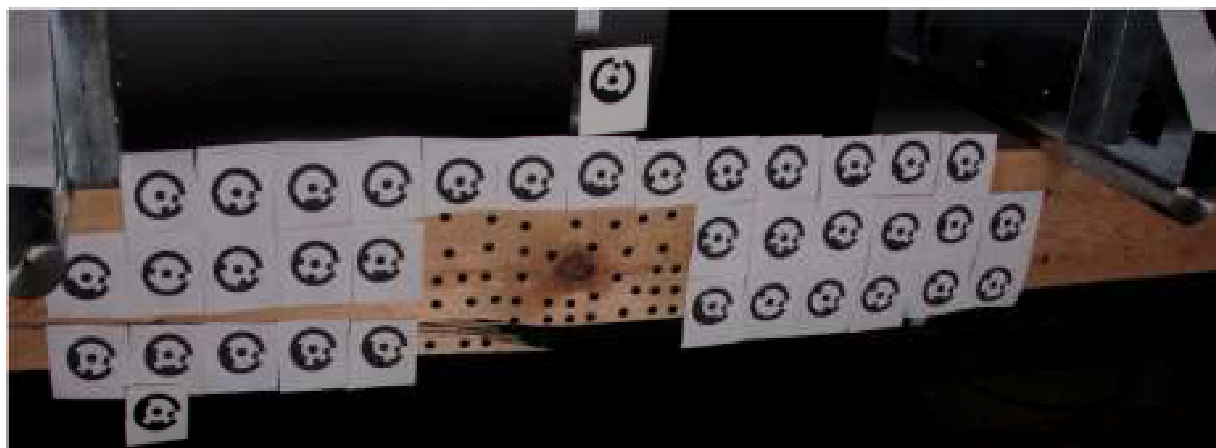
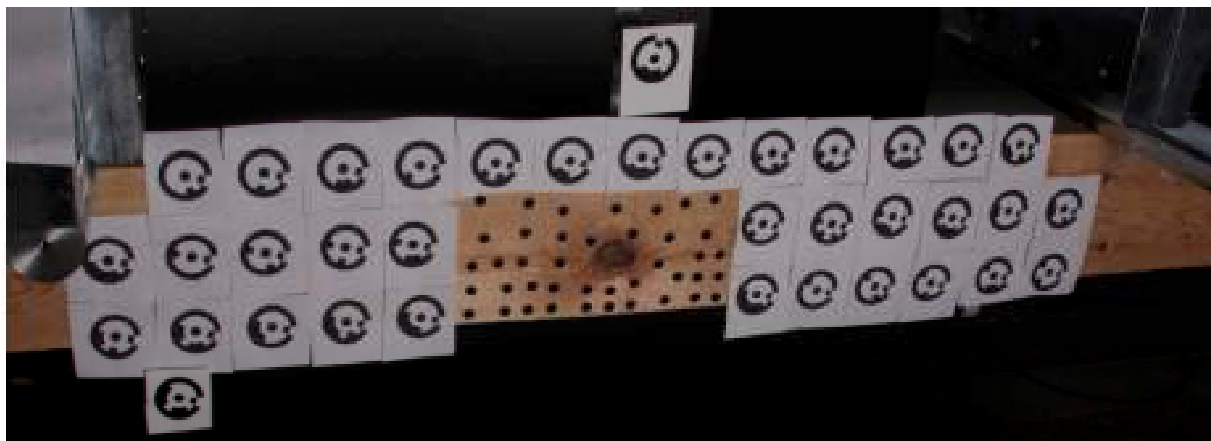


Universidad  
de Navarra

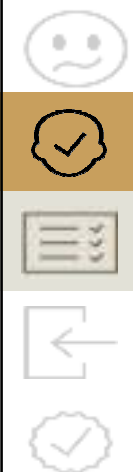
CÁTEDRA  
MADERA

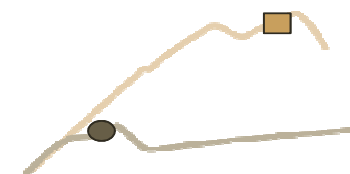
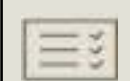
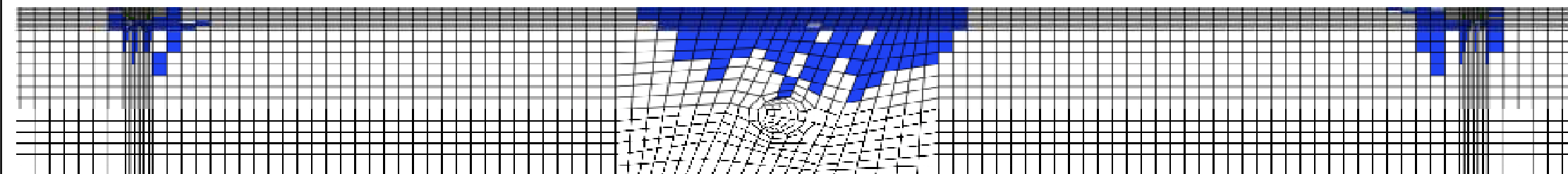
I Jornadas **LIGNOMAD**  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

Verificación del algoritmo



Verificación    Viga estructural (Guindos, 2011)





Modo de rotura

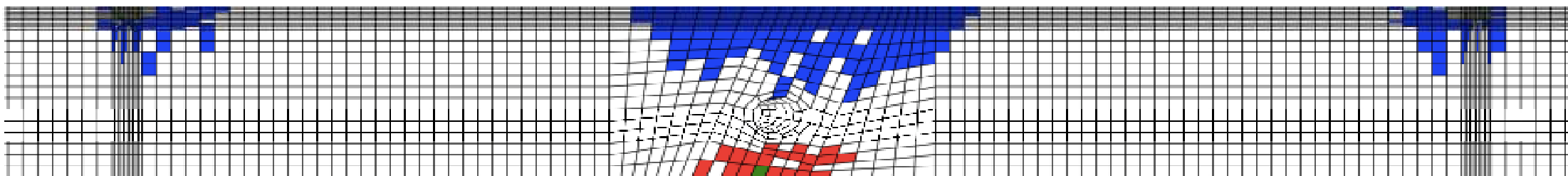
Tracción longitudinal

Tracción transversal

Compresión longitudinal

Compresión transversal

Varios



Modo de rotura



Tracción longitudinal



Tracción transversal



Compresión longitudinal



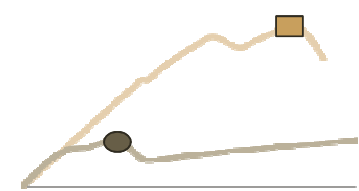
Compresión transversal

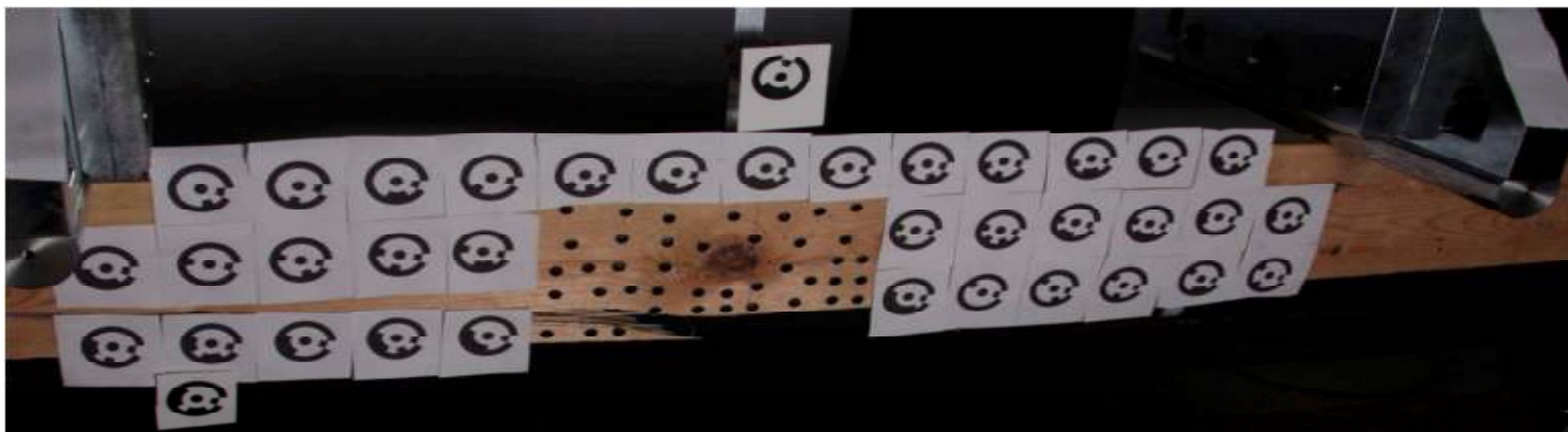
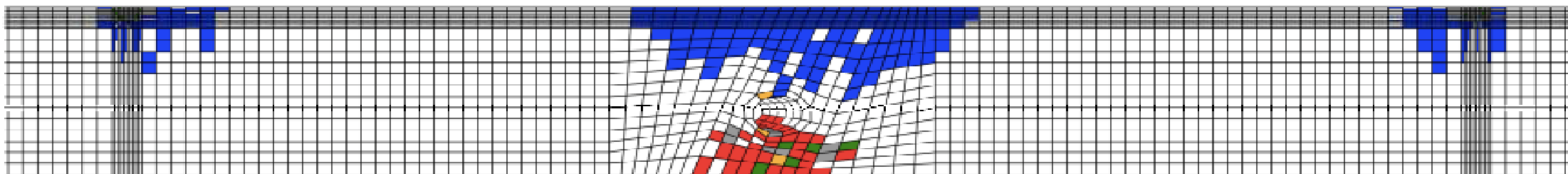


Varios

Verificación

Evolución del daño





Modo de rotura



Tracción longitudinal



Tracción transversal



Compresión longitudinal



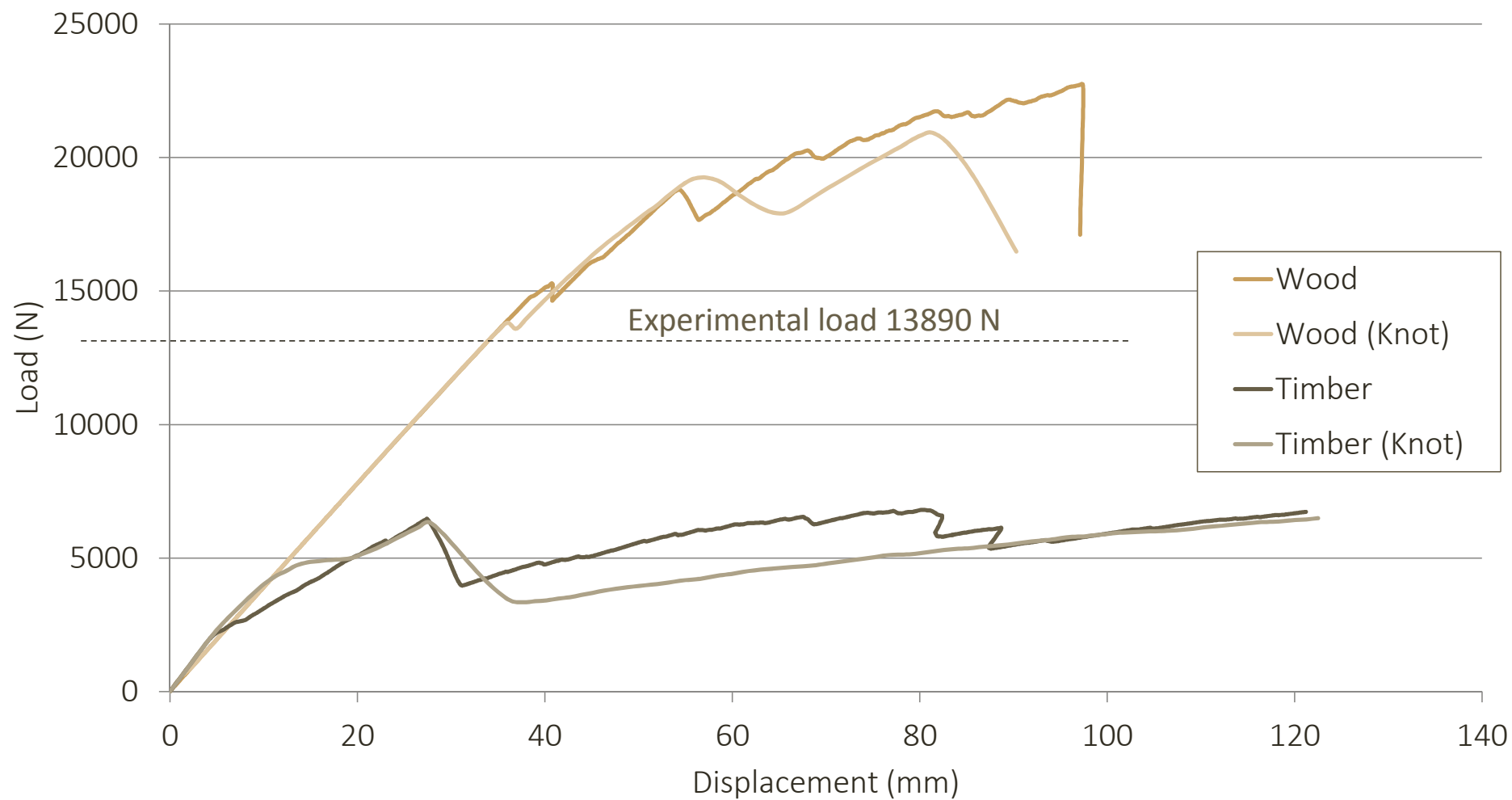
Compresión transversal



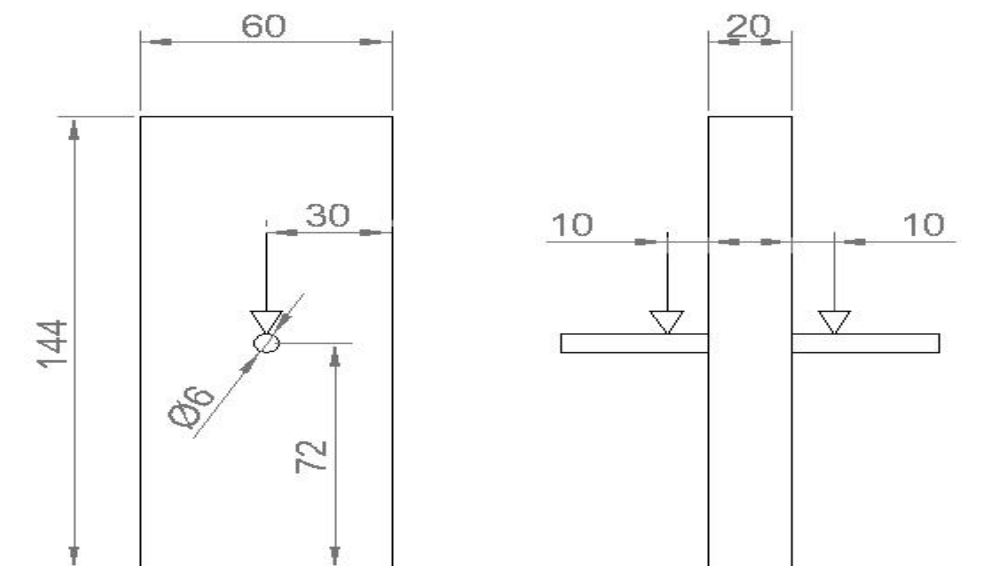
Varios

Verificación

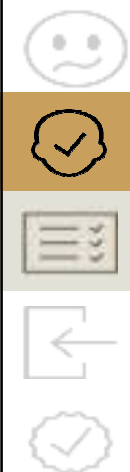
Evolución del daño

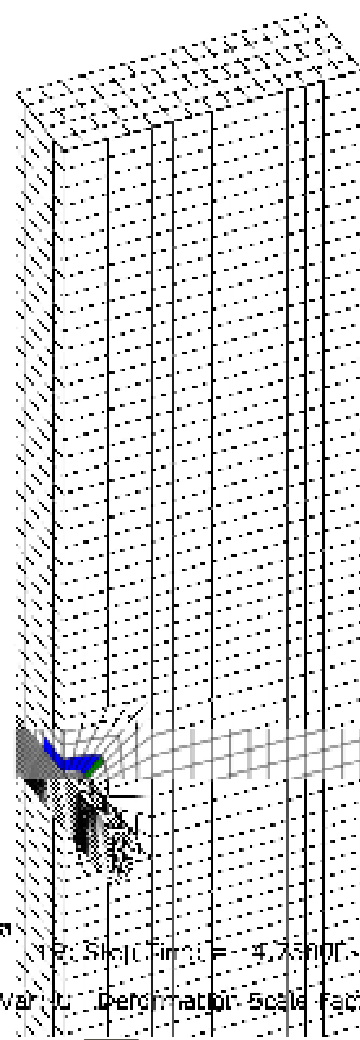


Verificación Resultados de los modelos

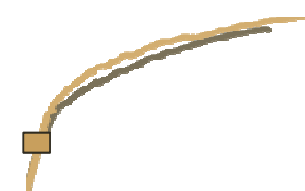


Verificación Ensayo de aplastamiento





Step: carga  
Incremental  
Deformed Variable: Deformation Scale Factor: +1.000e+07  
18.56107101 = 1.75107101



Modo de rotura



Tracción longitudinal



Tracción transversal



Compresión longitudinal



Compresión transversal

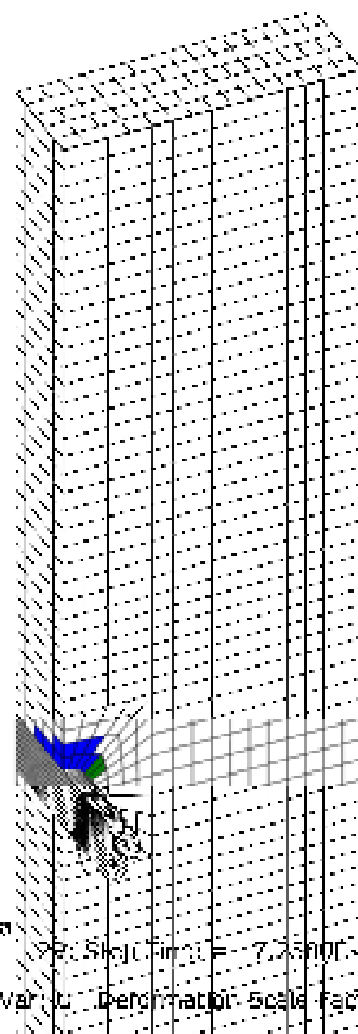


Varios

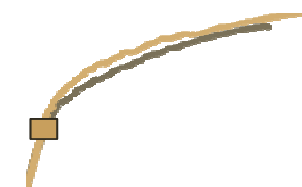
Verificación

Evolución del daño





Step: carga  
Incremental  
Deformed Variable: Deformation Scale Factor: +1.000e+07  
98.56101701 = 7.25101701e-07



Modo de rotura

Tracción longitudinal

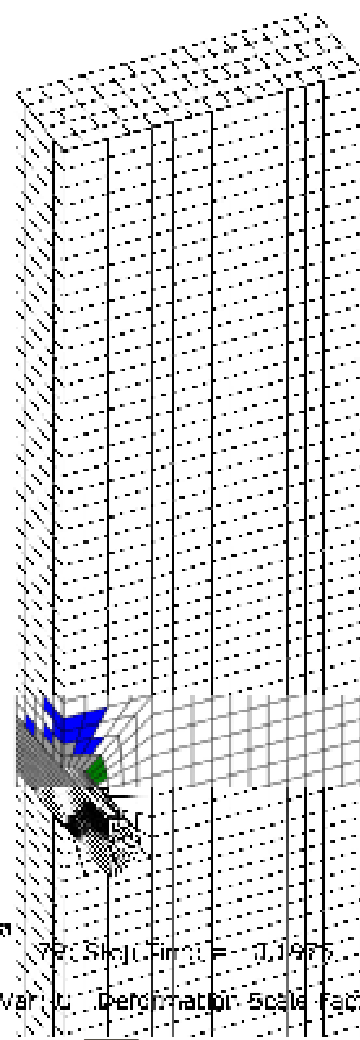
Tracción transversal

Compresión longitudinal

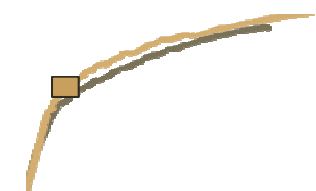
Compresión transversal

Varios

Verificación Evolución del daño



Step: carga  
Incremental  
Deformed  
Deformation scale factor: +1.000e+01

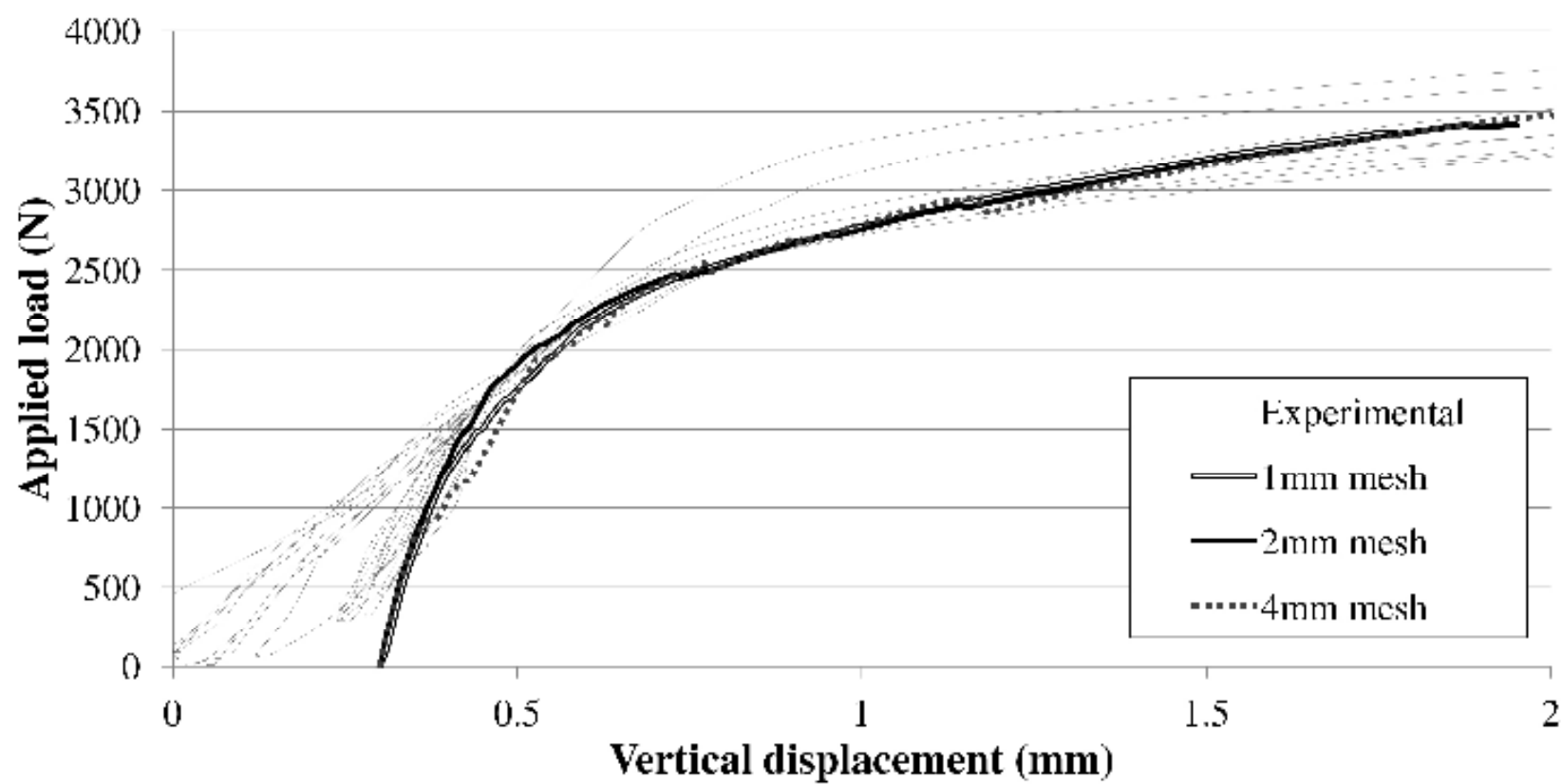


Modo de rotura

- Tracción longitudinal
- Tracción transversal
- Compresión longitudinal
- Compresión transversal
- Varios

Verificación Evolución del daño





Verificación Validación con resultados experimentales





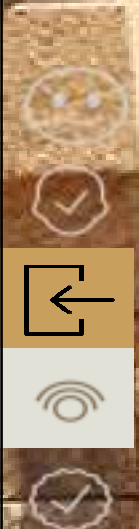
Universidad  
de Navarra

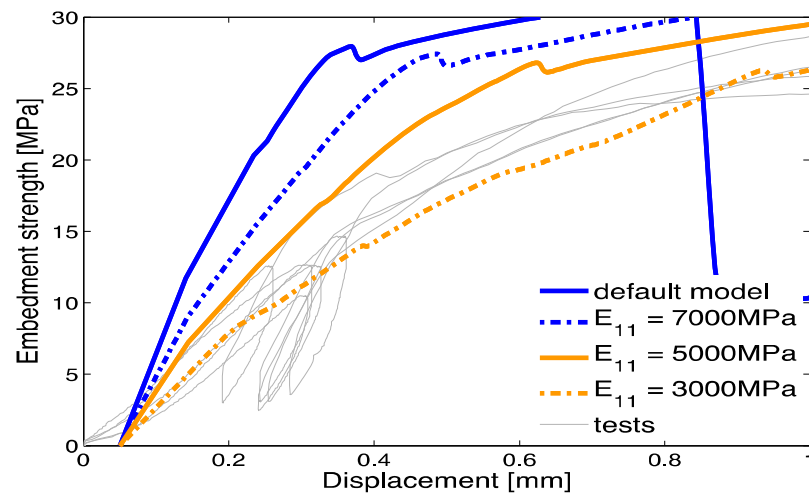
CÁTEDRA  
MADERA

I Jornadas **LIGNOMAD**  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

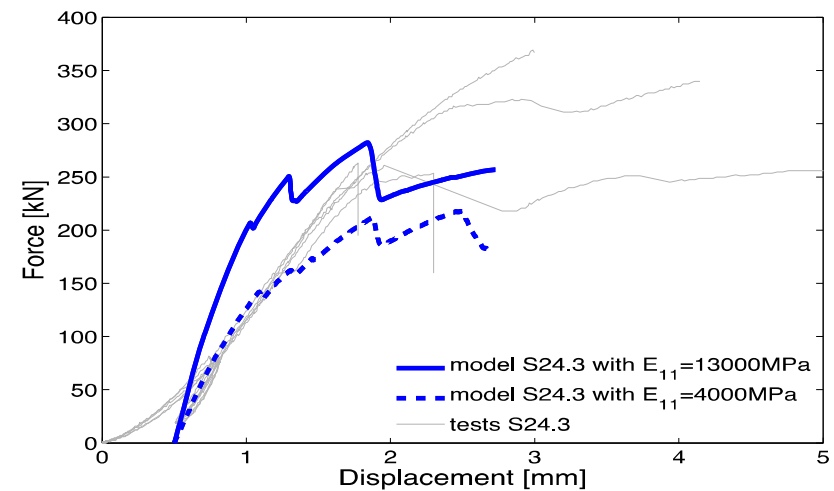
# Modelado del contacto

## Técnicas adicionales



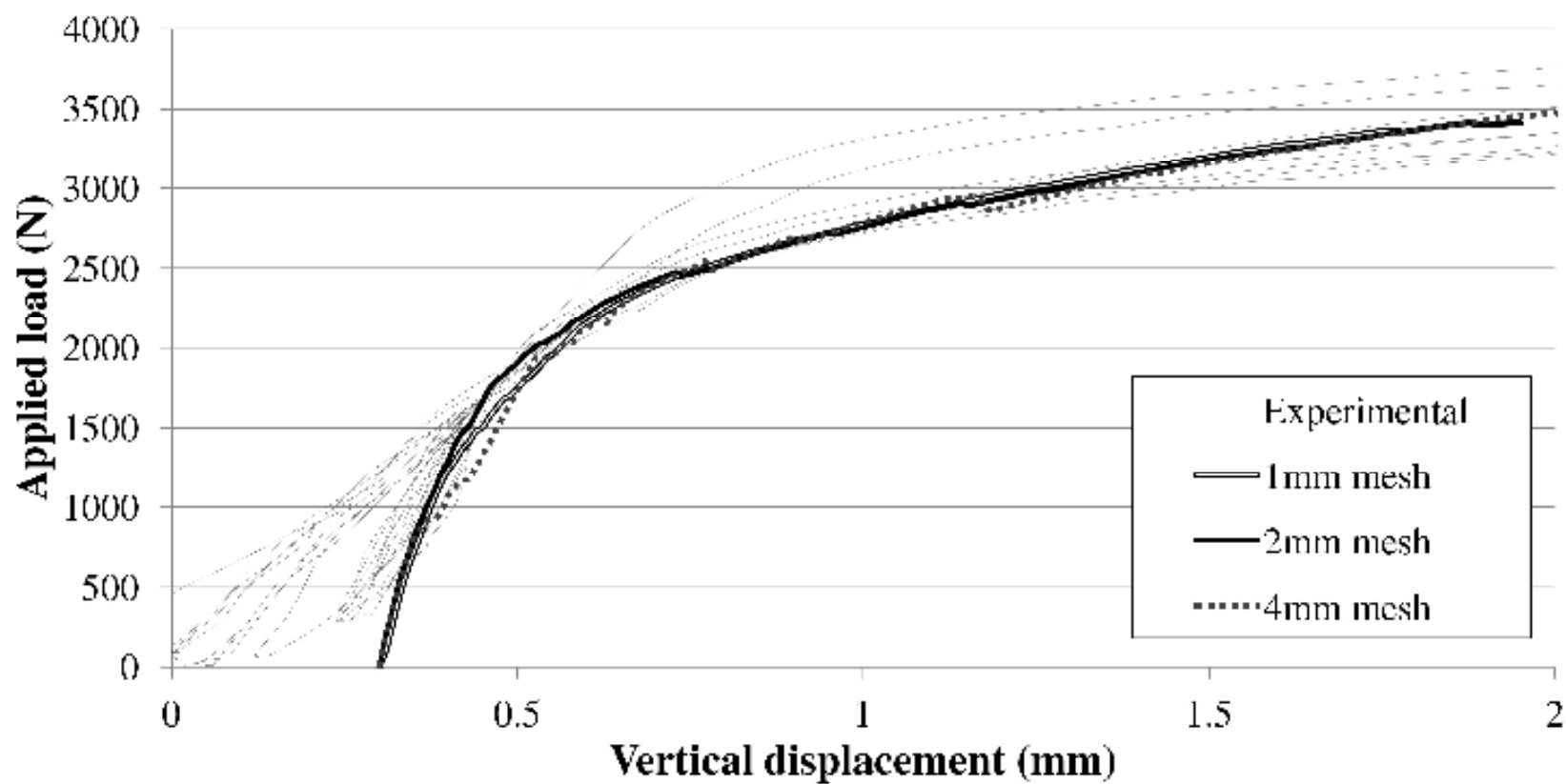


**Ensayo de aplastamiento en Picea Abies,  
pasador de 24 mm.**



**Unión de tres pasadores de diámetro 24  
mm en Picea Abies**

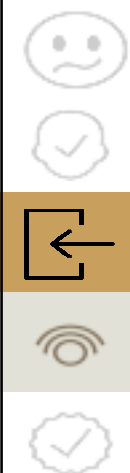
Sandhaas, C. (2012). *Mechanical Behaviour of Timber Joints With Slotted-in Steel Plates*. Tesis doctoral. Universidad de Delft.

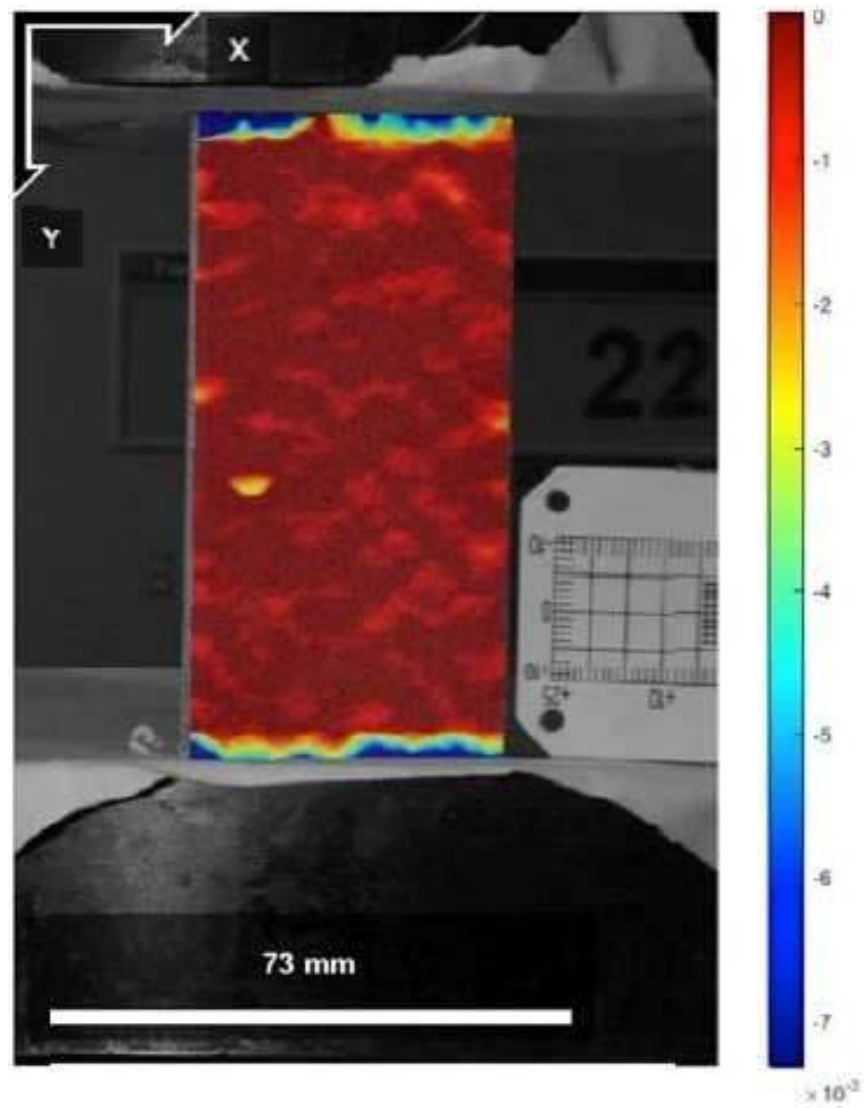


Modelado del contacto    Problema de la rigidez en el modelo de uniones

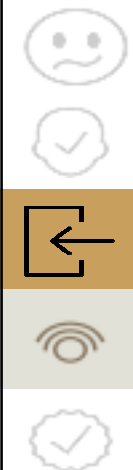


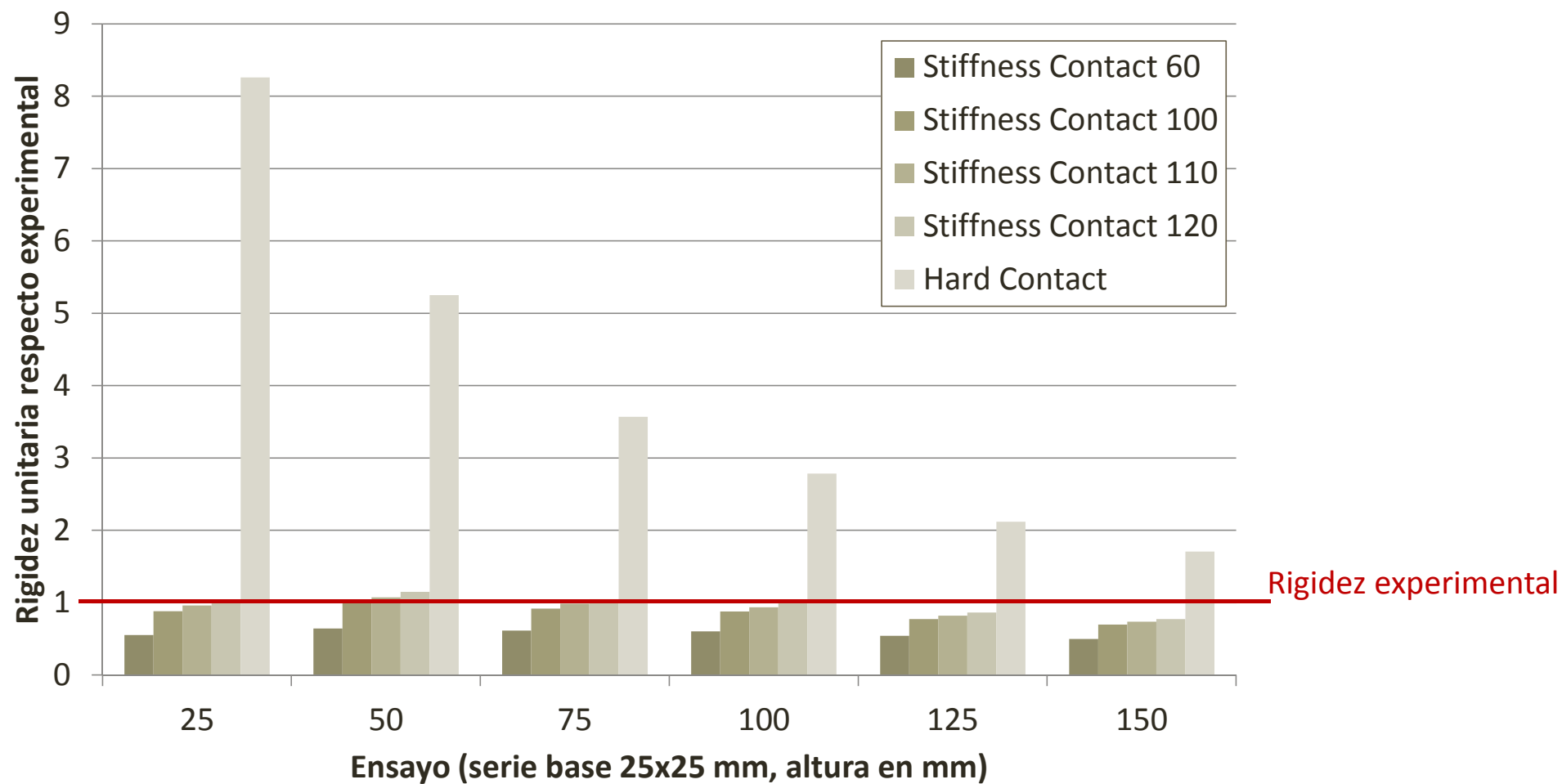
Modelado del contacto    Campaña experimental





Modelado del contacto    Deformación experimental







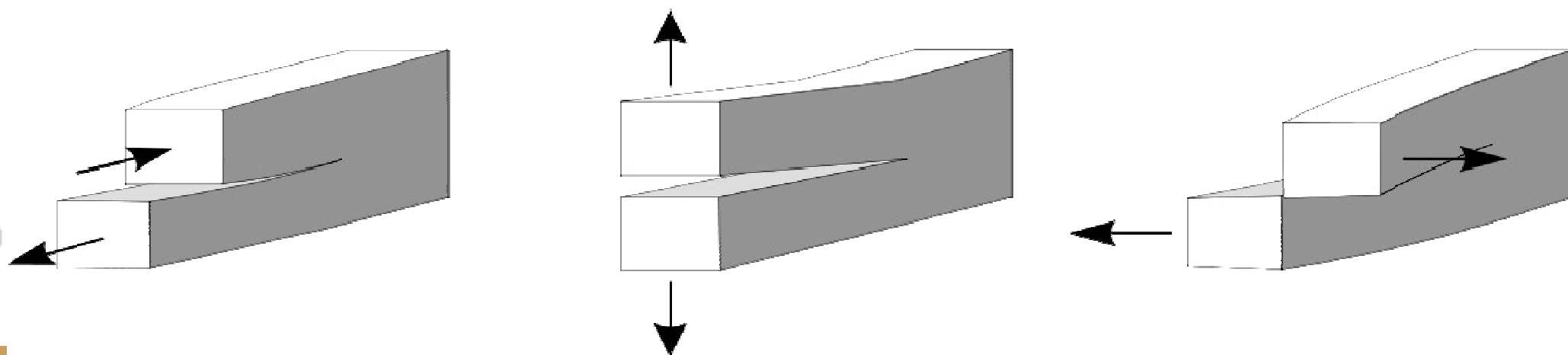
Universidad  
de Navarra

CÁTEDRA  
MADERA

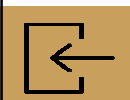
I Jornadas **LIGNOMAD**  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

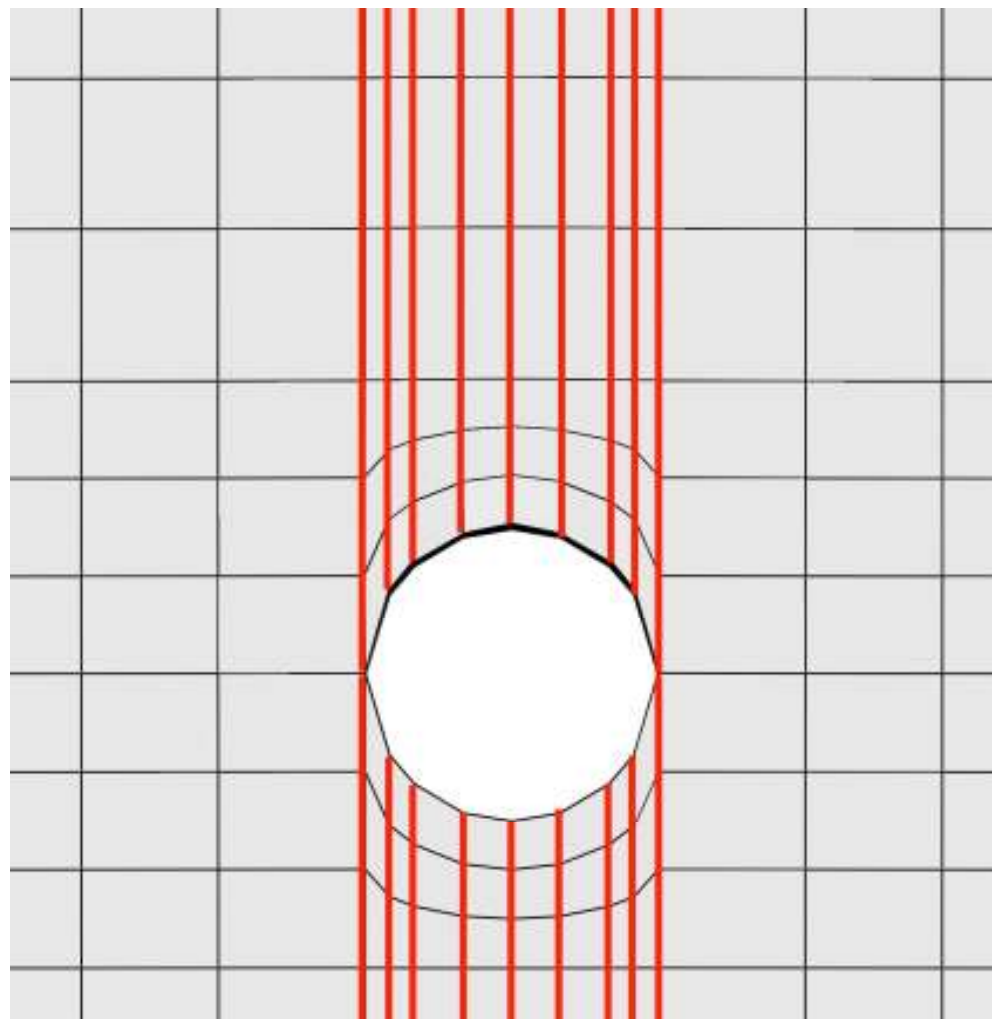
# Elementos cohesivos

## Técnicas adicionales



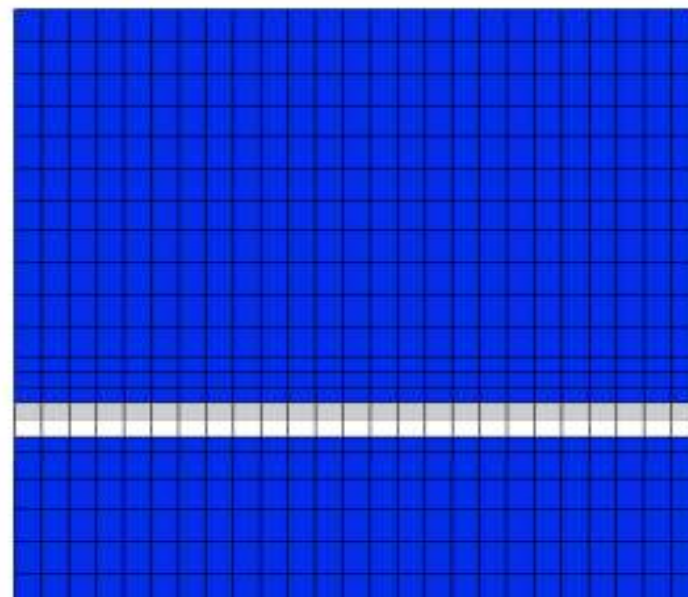
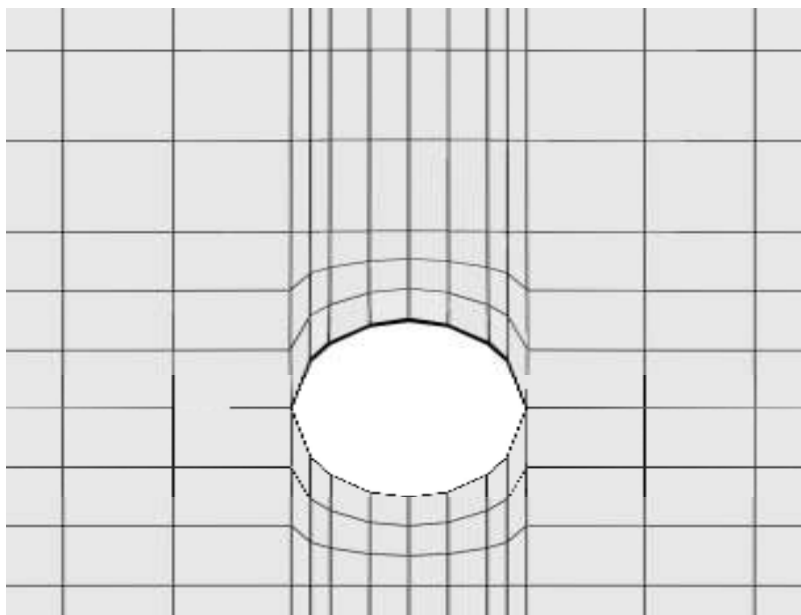
Elementos cohesivos    Modos de fractura

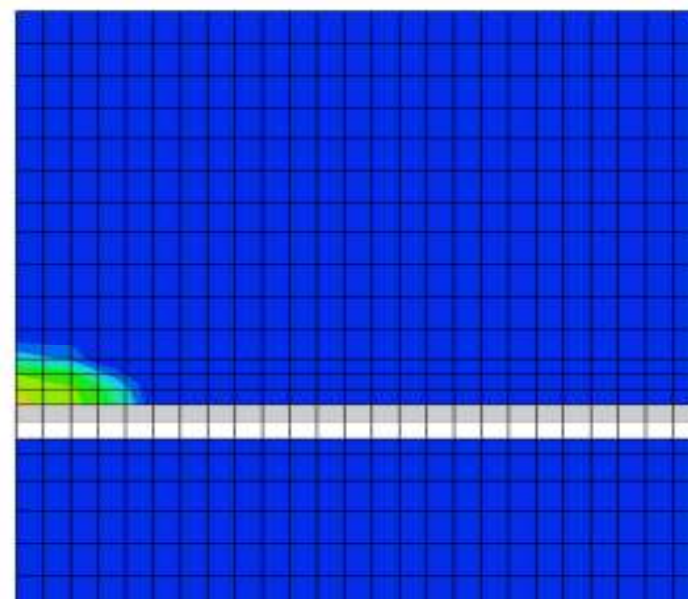
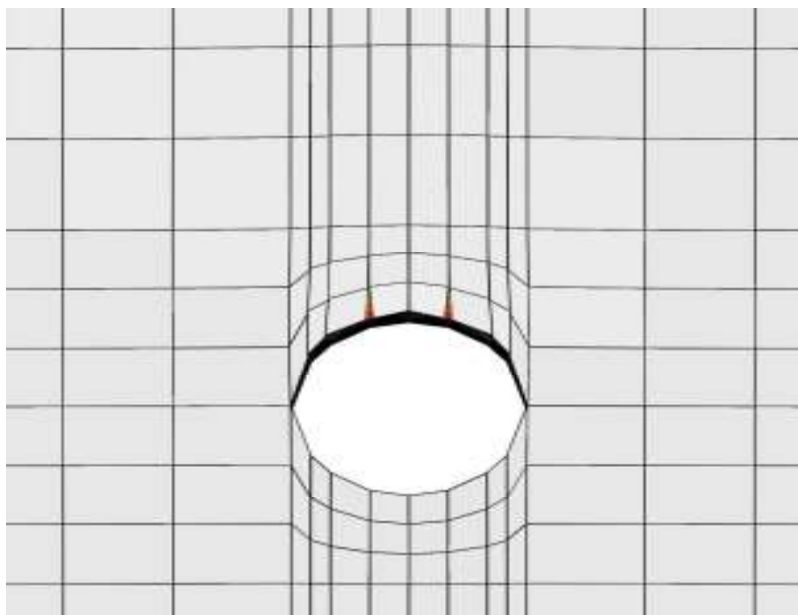




Elementos cohesivos Localización

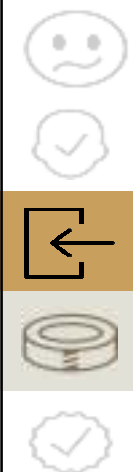
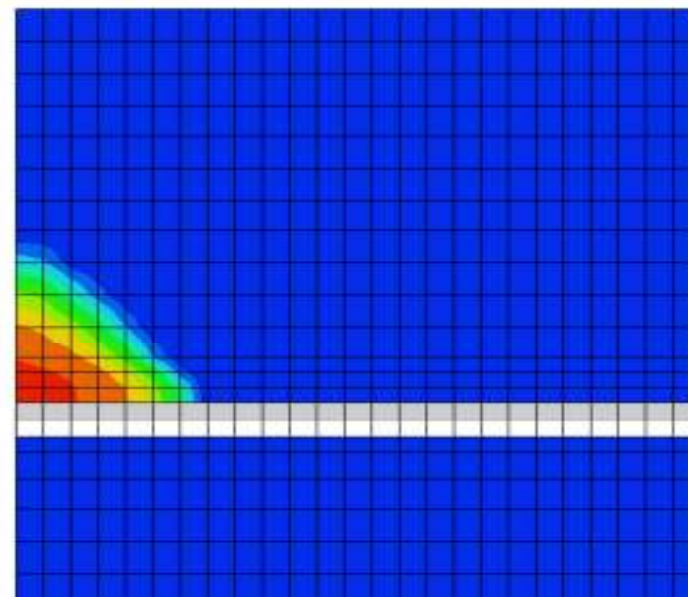
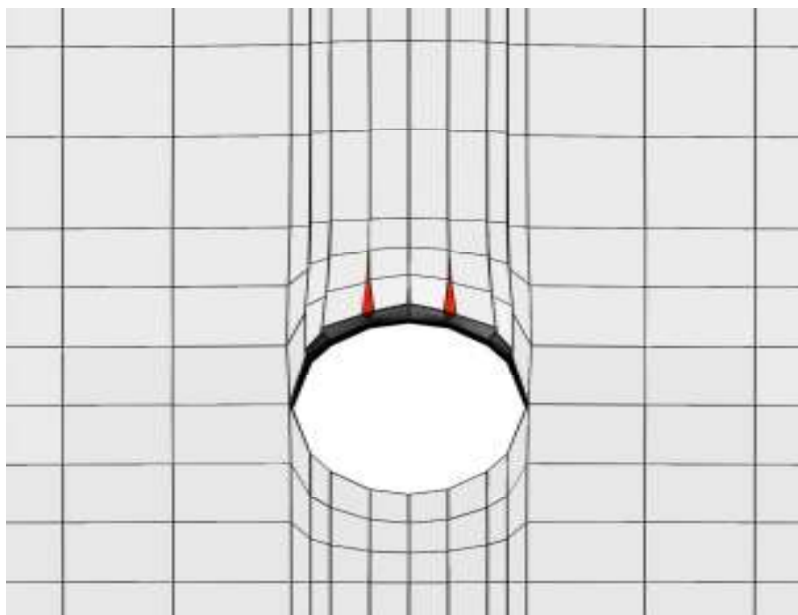


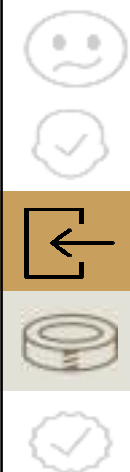
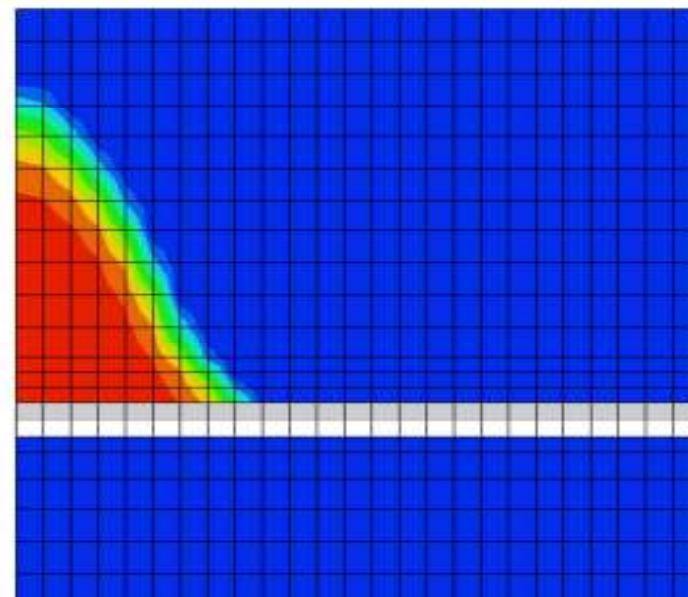
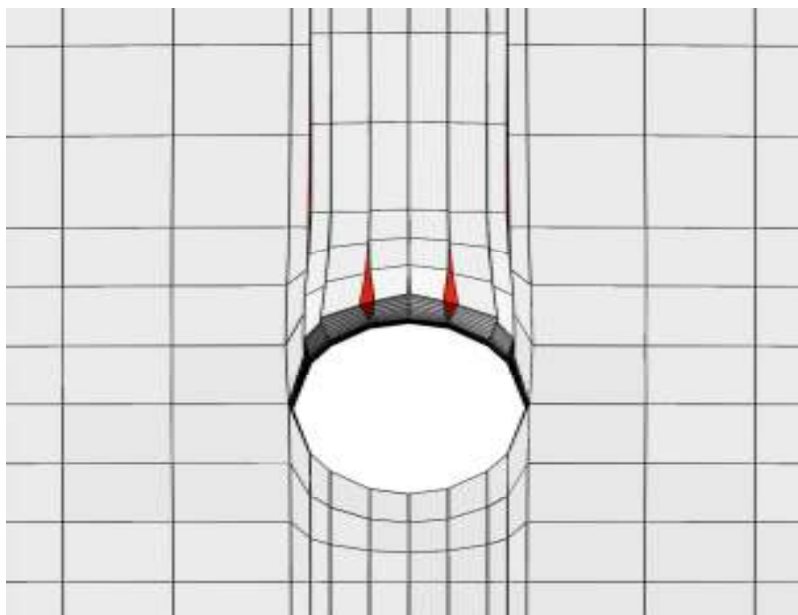


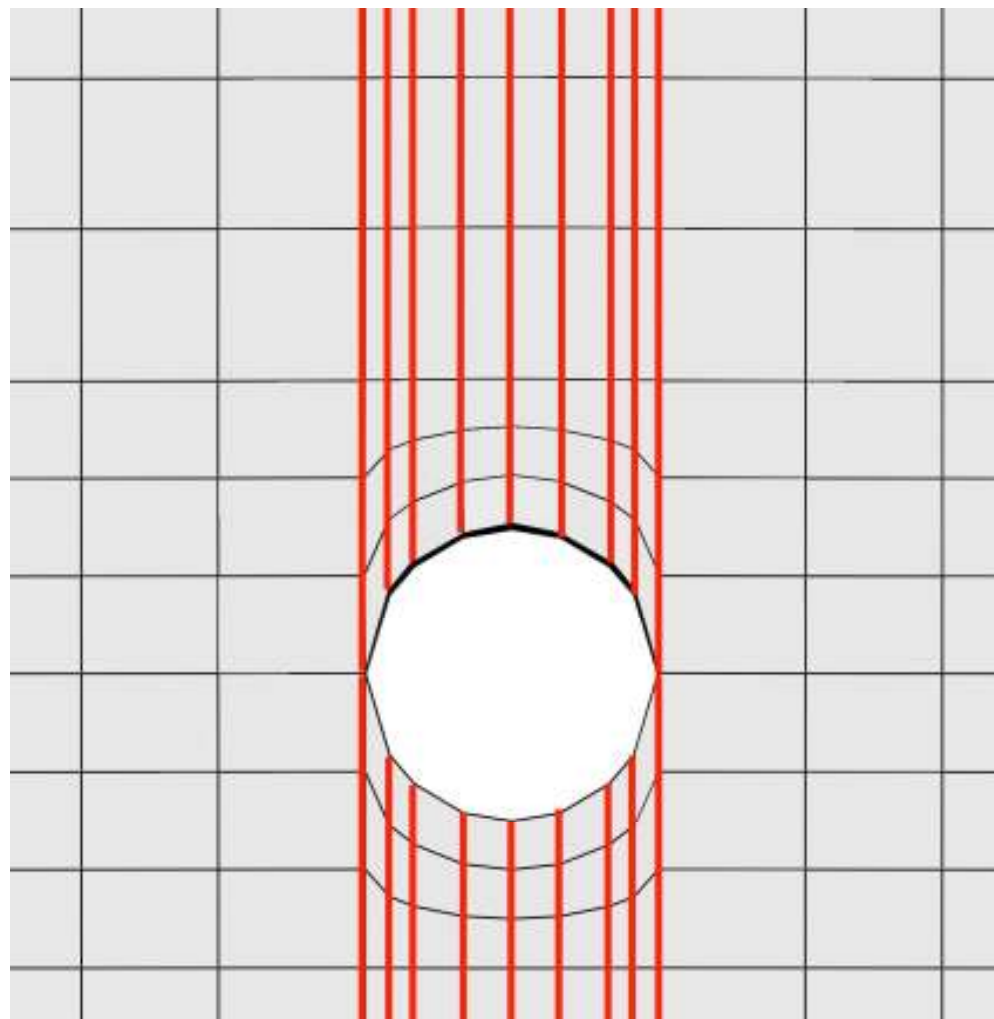


Elementos cohesivos Evolución

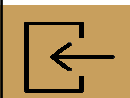


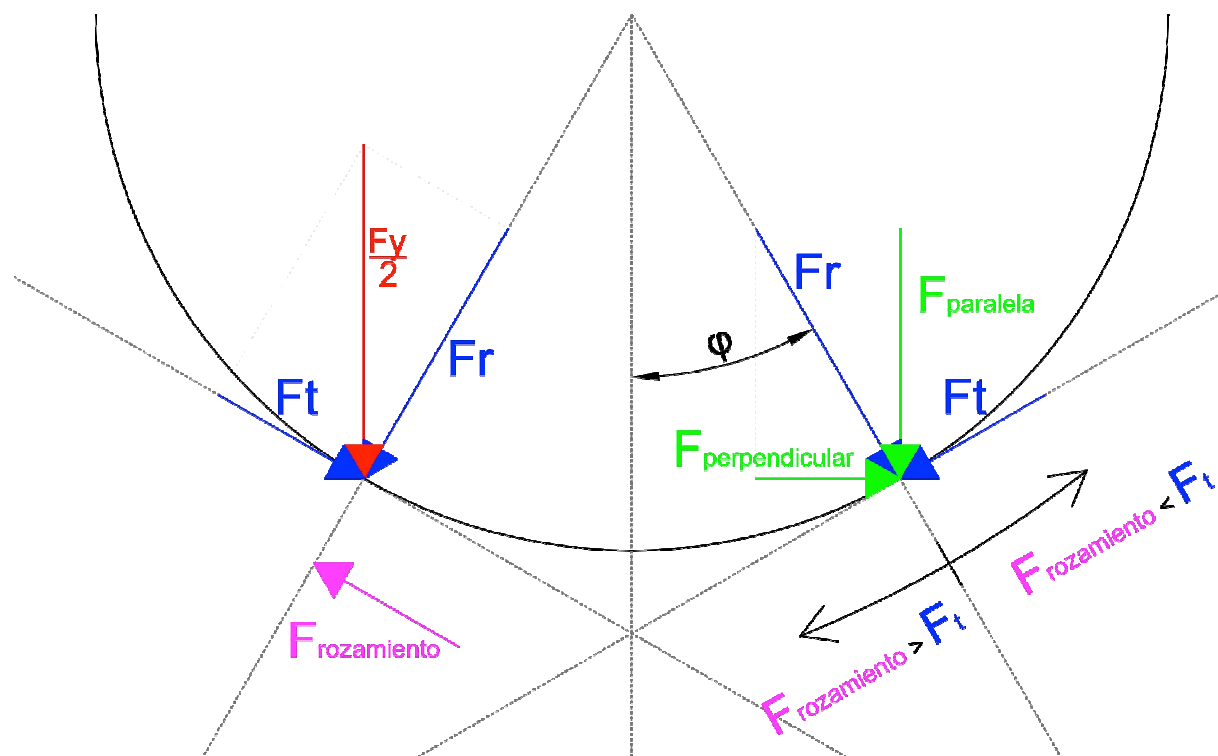






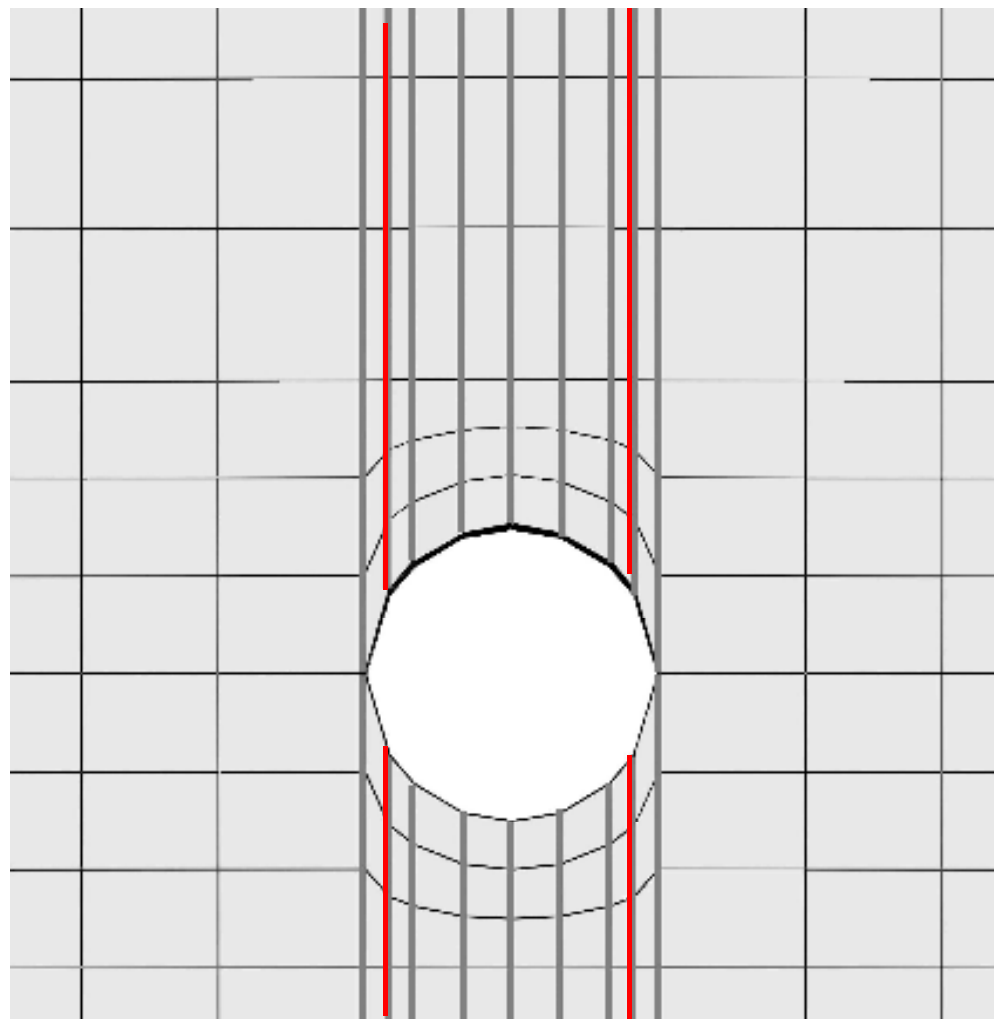
Elementos cohesivos Localización



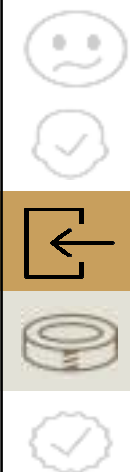


Elementos cohesivos Localización





Elementos cohesivos    Localización





Universidad  
de Navarra

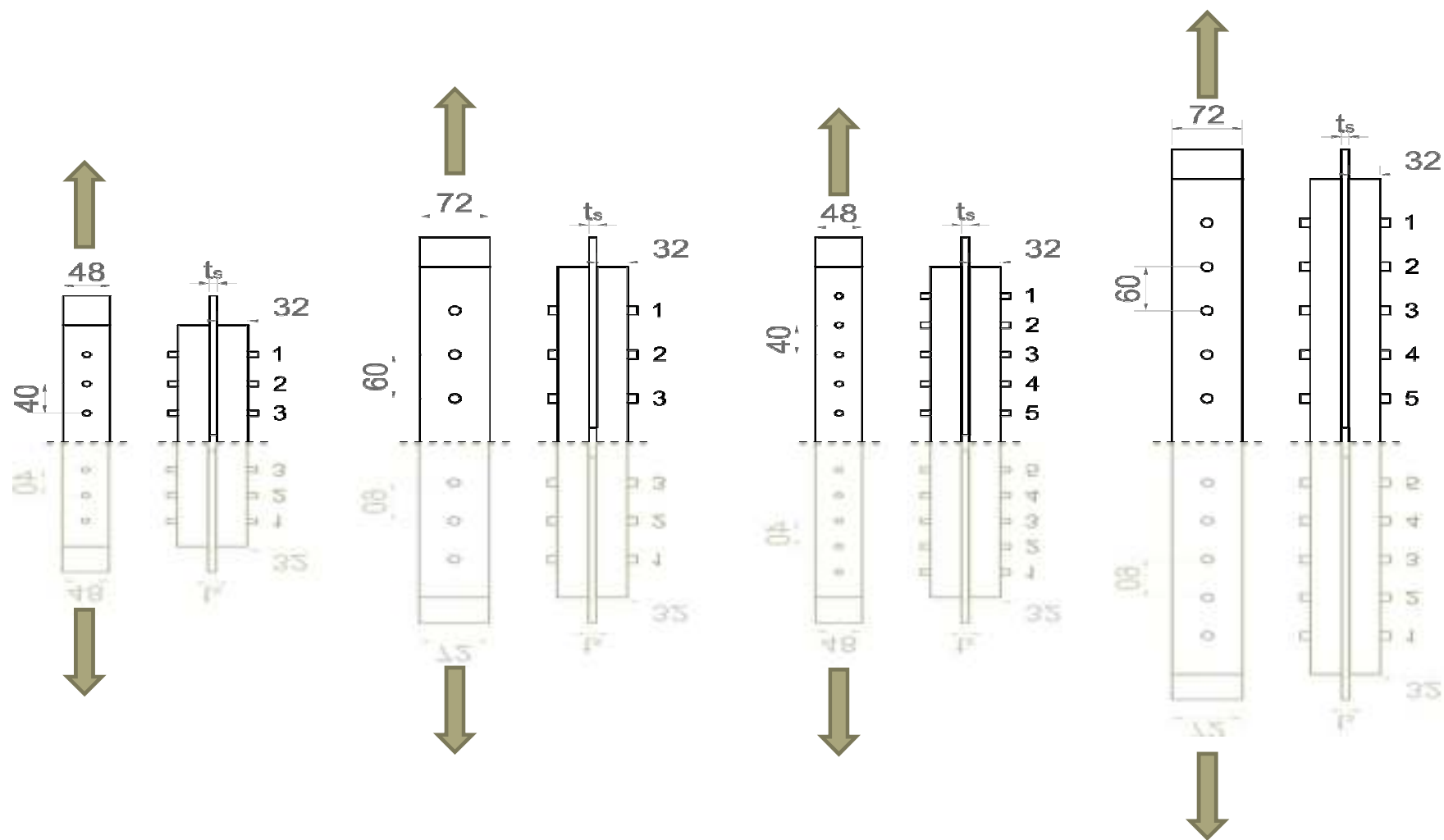
CÁTEDRA  
MADERA

I Jornadas **LIGNOMAD**  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

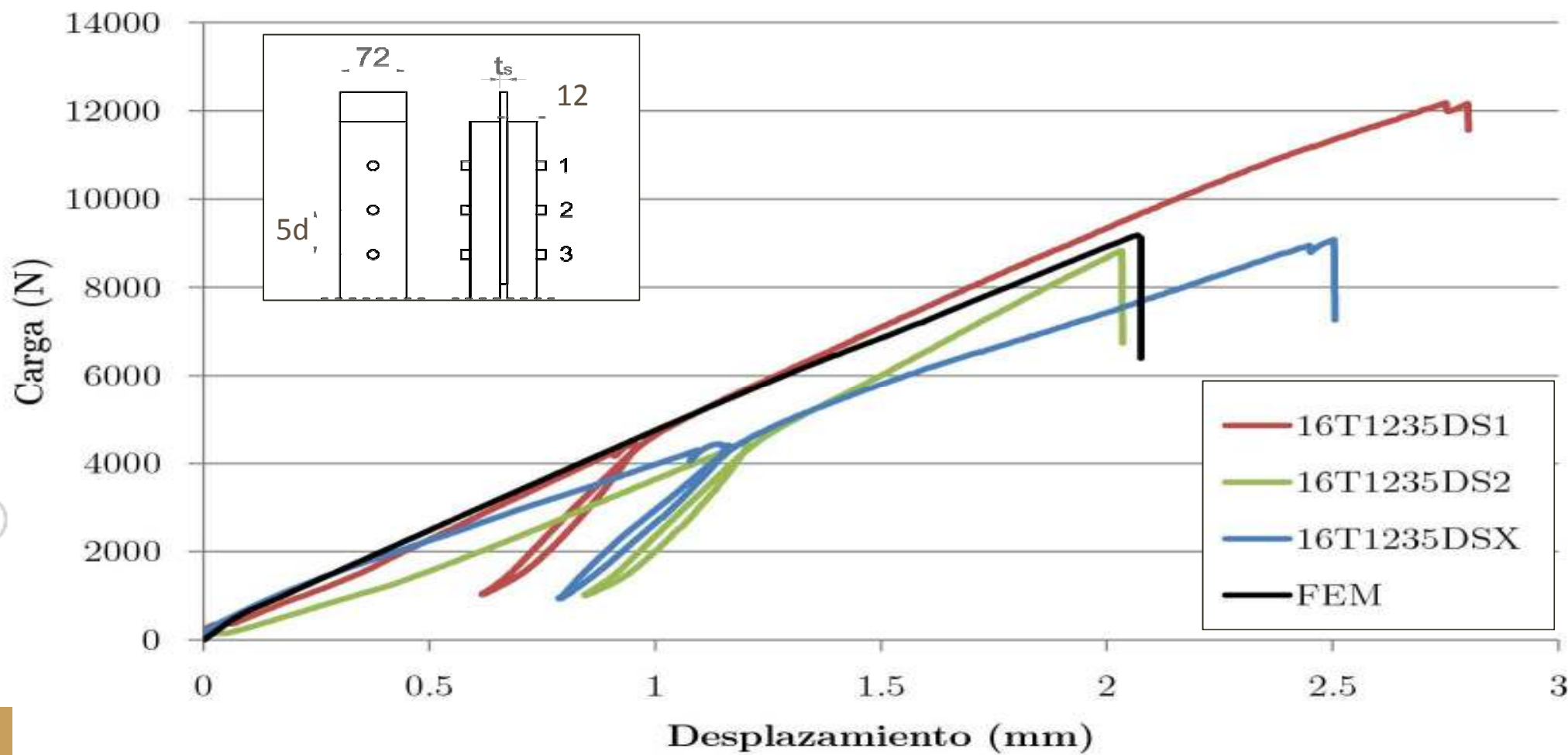
# Resultados

## Conclusiones

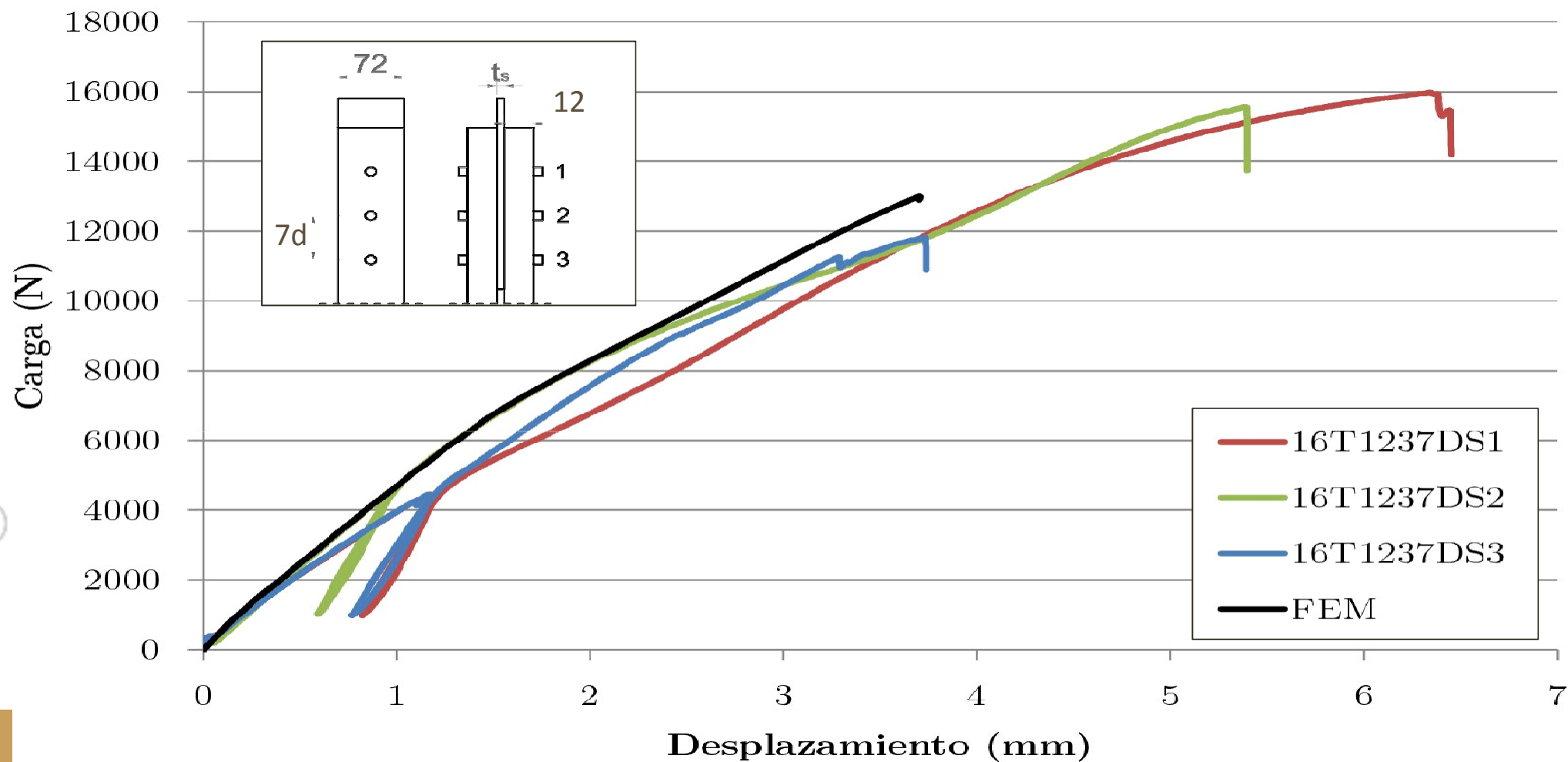


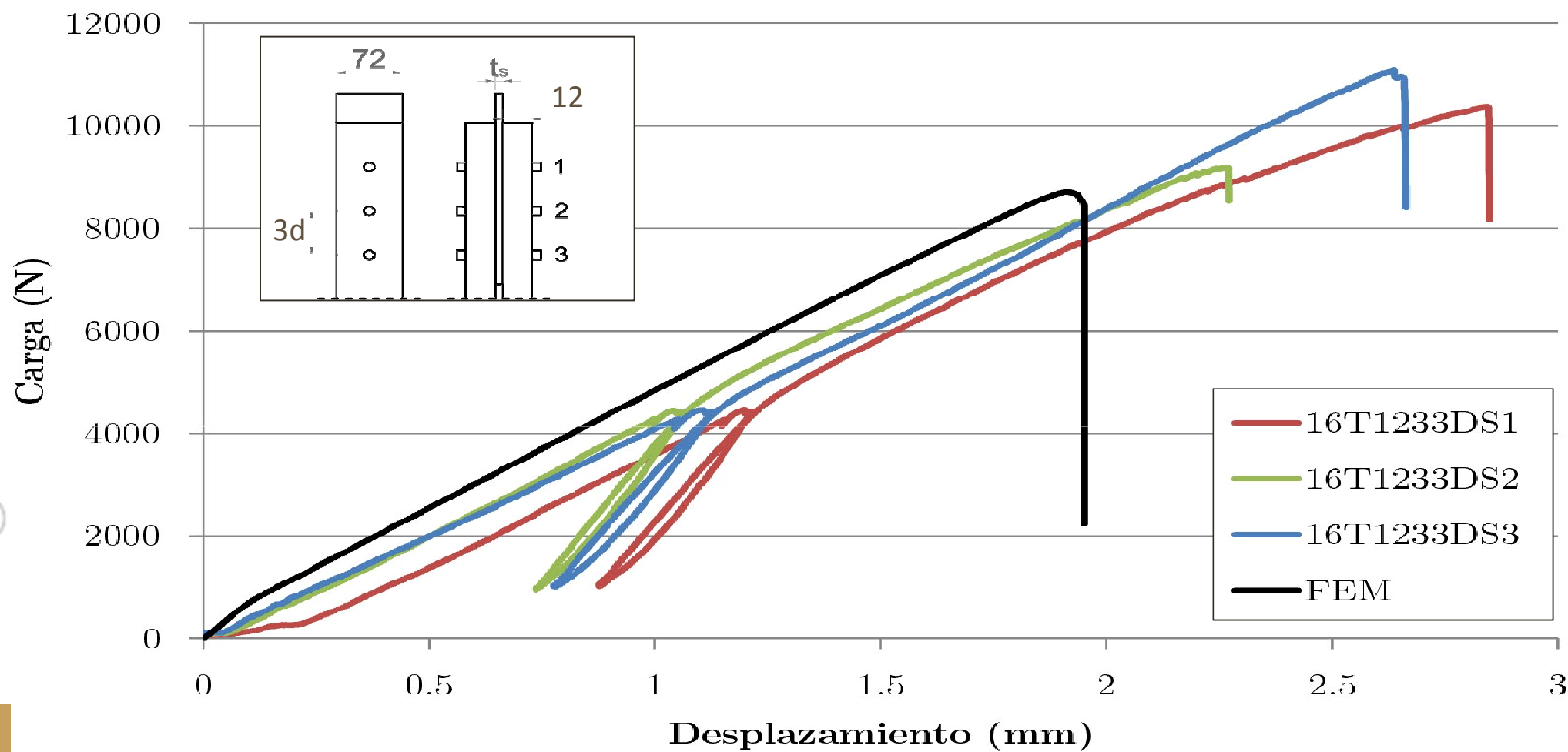


Resultados Uniones modeladas



Resultados Verificación del modelo

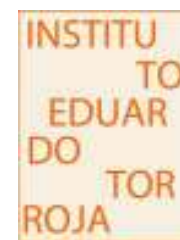
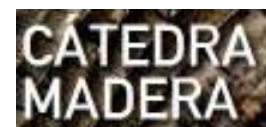




Gracias

madera@unav.es

# LIGNOMAD



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID





# I Jornadas LIGNOMAD

Barcelona 20 y 21 de junio 2016

## **Impregnación de madera maciza con diferentes retardantes de llama**

L. Haurie, J. Monton, J. García-Zumaquero, J. Formosa, J.M. Chimenos

Red para el impulso de la madera y otros materiales lignocelulósicos  
en el sector de la construcción

# Comportamiento al fuego de la madera

**Resistencia al fuego:** UNE-EN 13501-2

**Reacción al fuego:** UNE-EN 13501-1

Euroclases: A-F

Producción de humos

Caída de gotas

Madera sin tratar: D-s2, d0

# Comportamiento al fuego de la madera

Clases de reacción al fuego de los elementos constructivos, decorativos y de mobiliario. CTE-DB-SI Propagación Interior

<b>Situación del elemento</b>	<b>REVESTIMIENTOS</b>	
	<b>Techos y paredes</b>	<b>Suelos</b>
Zonas ocupables	C-s2,d0	Efl
Pasillos y escaleras protegidos	B-s1,d0	Cfl-s1
Aparcamientos y recintos de riesgo especial	B-s1,d0	Bfl-s1
Espacios ocultos no estancos tales como patinillos, falsos techos, suelos elevados (excepto los existentes dentro de la vivienda), etc. o que, siendo estancos, contengan instalaciones susceptibles de iniciar o propagar un incendio.	B-s3,d0	Bfl-s2

# Retardantes de llama

## Mecanismos de acción:

- Promover la carbonización de la madera
- Crear una capa vítrea protectora
- Diluir los gases de combustión
- Reducir la temperatura de la fase condensada

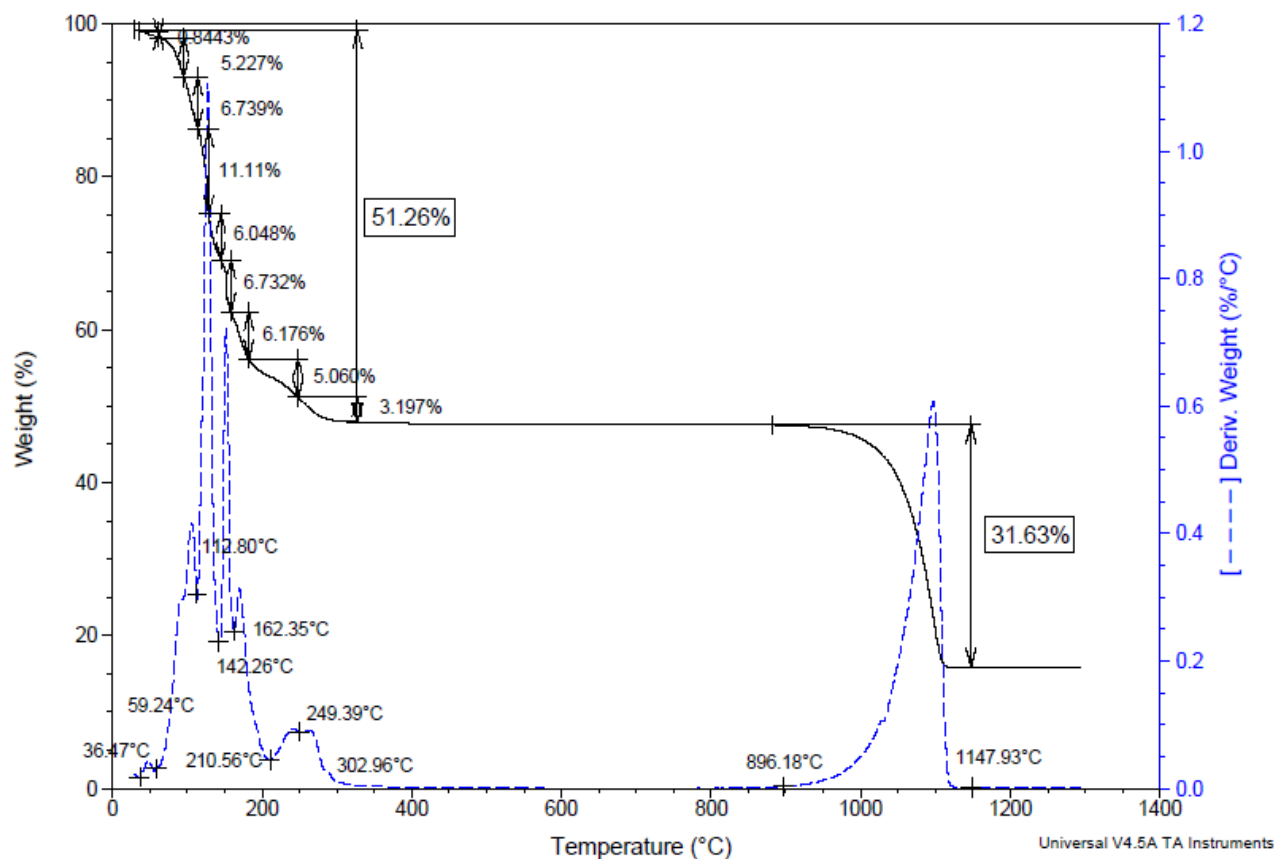
## Retardantes de llama

- Sal de fósforo: polifosfato de amonio en solución (FR CROS 134<sup>®</sup>)
- Sal de boro: disódico tetrahidratado (Solubor<sup>®</sup>)
- Epsomita: sulfato de magnesio heptahidratado

Epsomita:  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Alta solubilidad en agua: 700g/l

Deshidratación endotérmica: 1400J/g



# Impregnación



Piezas de 10cm x 10 cm x 2cm  
Pino Silvestre, pino Laricio, Haya

## Impregnación

- 1) Secado a 100°C hasta peso constante
- 2) Vacío inicial
- 3) 30 minutos de tiempo de espera
- 4) Rotura de vacío hasta presión ambiental
- 5) Aplicación de un segundo vacío
- 6) 30 minutos de tiempo de espera
- 7) Rotura de vacío
- 8) Secado muestras a 40°C



## Caracterización



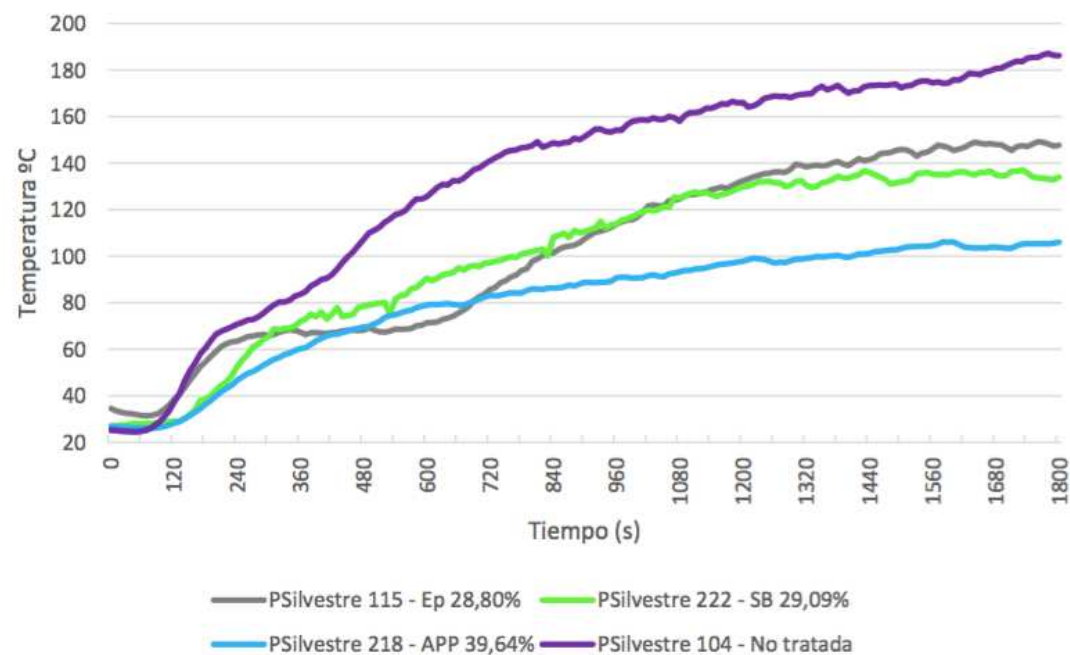
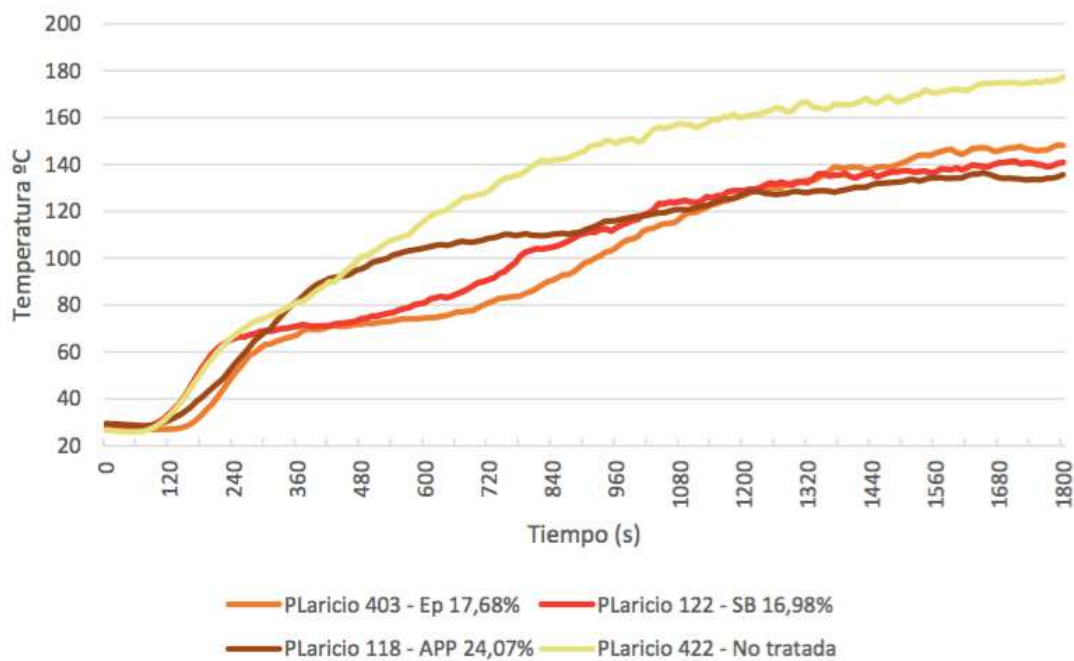
# Caracterización

Muestra	% retardante llama	Ensayo de goteo			LOI (%)
		t <sub>ignición</sub> (s)	Nº igniciones	Duración media llama (s)	
PS	0	21	3	86	20
PS Epsomita	21	26	16	16	32
PS Solubor	27	37	30	5	32
PS FR Cros	33	-	-	-	62
PL	0	28	8	31	20
PL Epsomita	20	37	18	12	29
PL Solubor	22	57	27	5	26
PL FR Cros	30	-	-	-	59

PS: Pino silvestre

PL: Pino laricio

# Caracterización



## Conclusiones

- La elevada solubilidad en agua de la epsomita permite incorporar grandes cantidades de producto a temperatura ambiente.
- El comportamiento al fuego de la madera tratada mejora respecto a la madera sin tratar.
- Las muestras tratadas con polifosfato de amonio presentan los mejores resultados en los ensayos de comportamiento al fuego.
- Investigar si existen sinergias al combinar retardantes de llama de diferentes naturalezas es una línea de futuro.

Muchas gracias por su atención

LIGNOMAD



---

WOODSONICS Final review meeting

**Works carried out in  
Incafust:  
non destructive and  
destructive tests**

Brixen| 13/7/2016

---

Dr. Eduard Correal Mòdol | Institut Català de la Fusta

# Índex

.....  
**1. Preliminary prototype: small test specimens**  
.....

**2. Visual Description: Webknot Calculator**  
.....

**3. Woodsonics scan**  
.....

**4. Physical general properties and VISCAN**  
.....

**5. Bending and density tests**  
.....

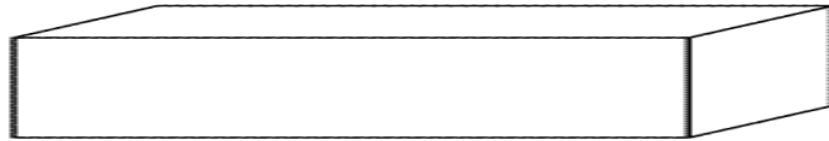
**6. Strength, Stiffness and density calculation**  
.....

# Preliminary works: small test specimens

---

**Small test specimens to see the behaviour of the first prototype roller depending on the type of wood**

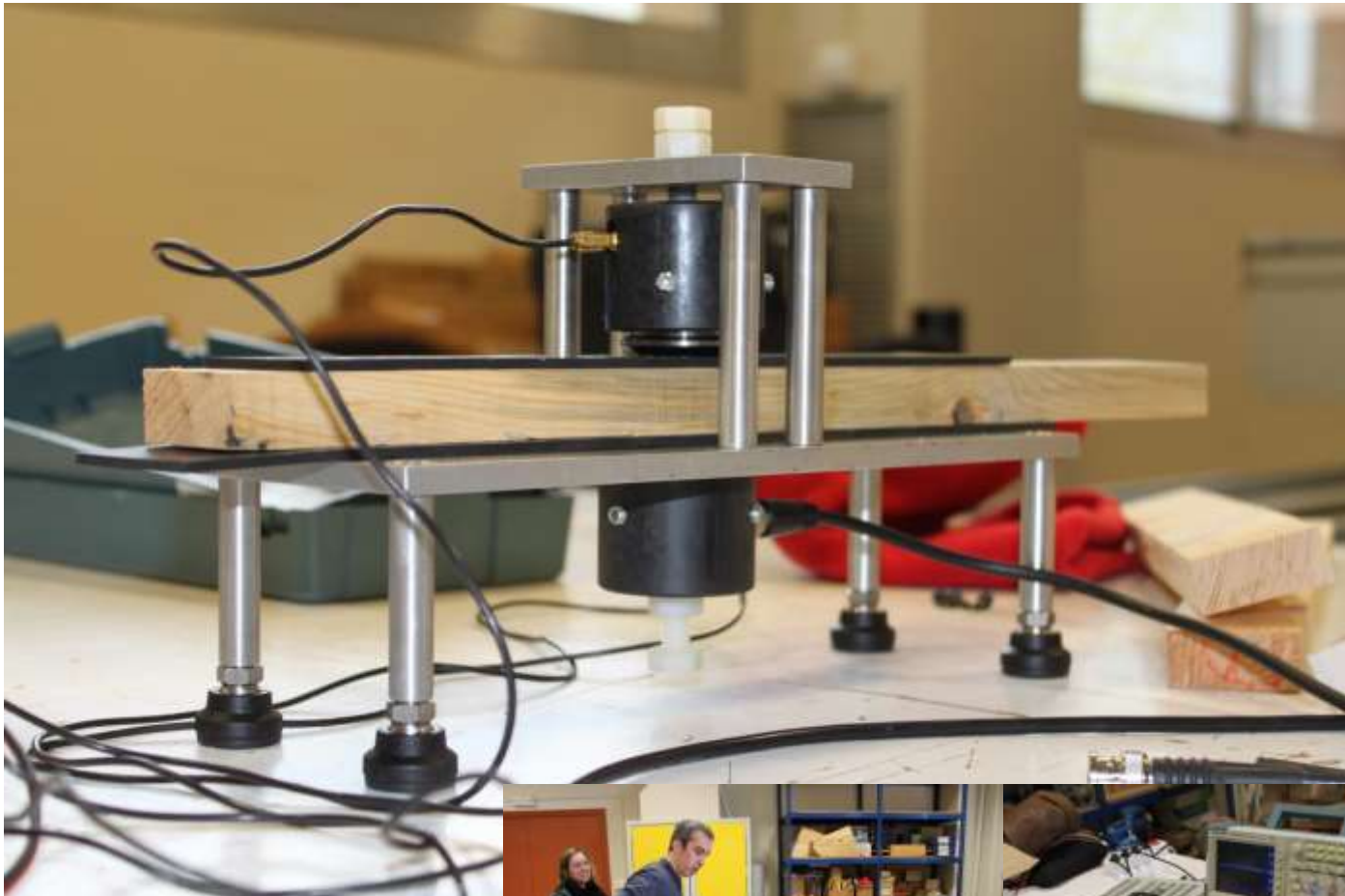
- **Quality of coupling**
- **Dimensions:** 25x50x100 mm



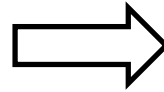
- **Species:**
  - Scots pine (*Pinus sylvestris*)
  - European chestnut (*Castanea sativa*)
  - Oak (*Quercus petraea*)
  - Silver fir (*Abies alba*)

# Preliminary prototype

---



**French oak**  
*Quercus petraea*  
*Quercus robur*



**Different qualities**  
**6 different dimensions**

Batch	Width (mm)	Thick (mm)	Test span (mm)	Amount (ut)
1	103	75,4	1957	8
2	75	37	1348	5
3	73,7	43,7	1327	135
4	72	38	1298	126
5	56	54	1008	113
6	35,5	28,8	639	125
TOTAL				512

# Visual description

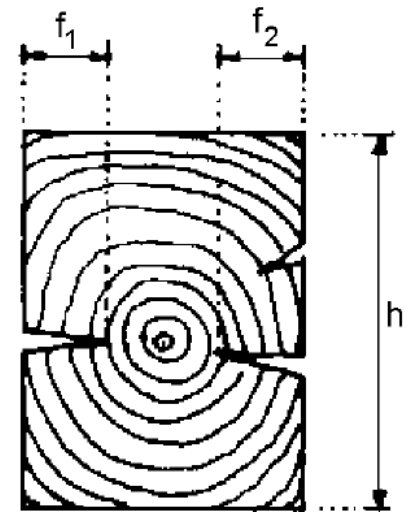
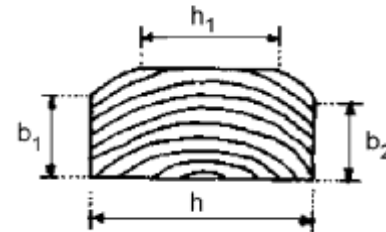
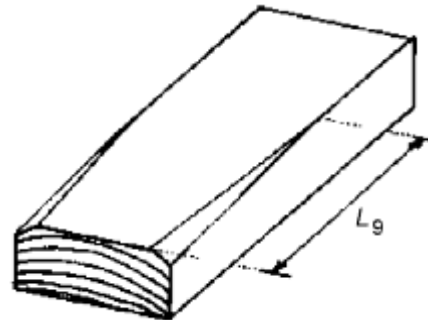
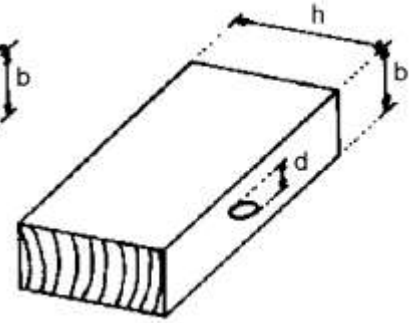
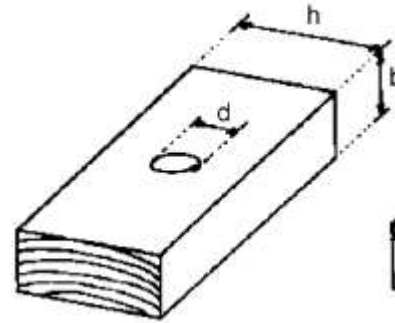
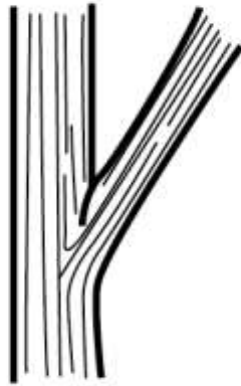
---



**French oak**  
***Quercus petraea***  
***Quercus robur***



## Visual description: timber defects



# Webknot calculator v2.2 by Microtec

---

**Webknot calculator:** webbased online program designed to describe the knots of the beams

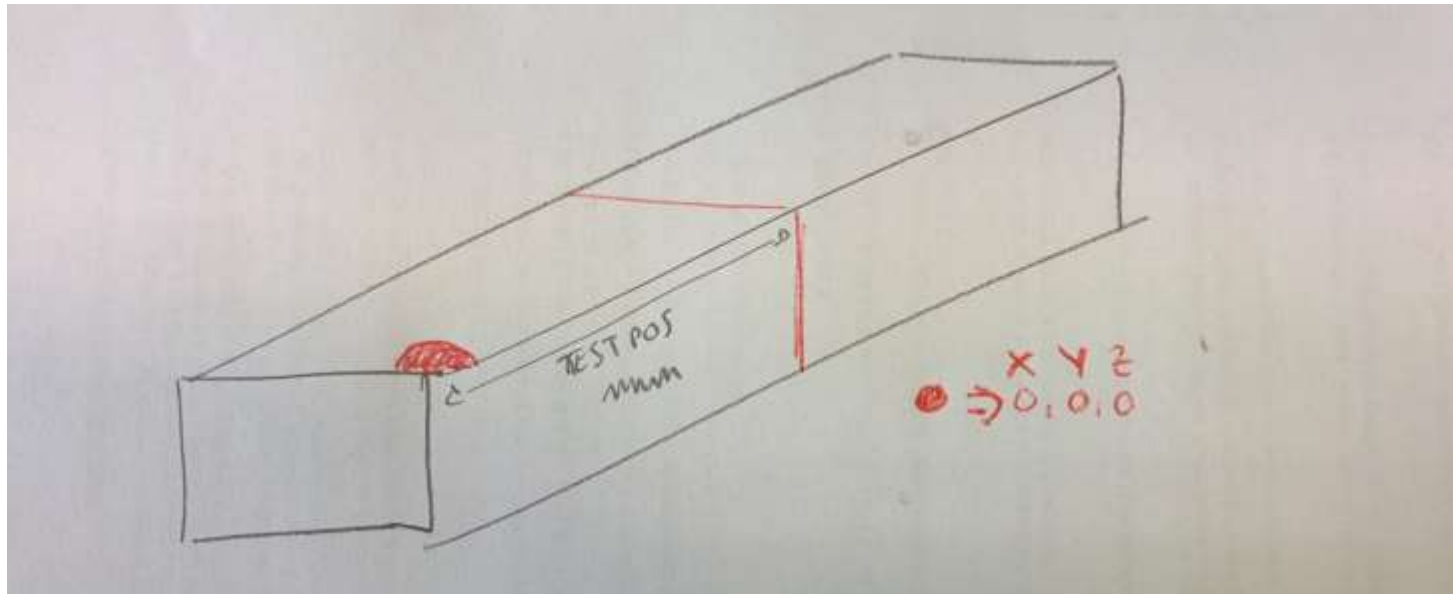
- Knots
- Breakages
- Cracks
- Insects
- Other issues



## Beam description:

- Dimensions: length, width, thickness
- Testpos: centre of the beam when tested
- Location of the knot
- Location of the pith (if there is)

# Webknot calculator v2.2 by Microtec



**Testpos: centre of the test span  $\neq$  centre of the beam**

**Beam origin ● : 0,0,0**

**Coordinate system for the algorithm**

**Dimensions: total length, width and thickness**

## Webknot calculator v2.2 by Microtec

Web Knot Calculator v2.2

User: incafust [Java] [Imprint] [Contact] [Help] [Logout]

Project [1] WOODSONICS << < > >>

Name WOODSONICS Species --- (Undefined)

Report Full Short Status ---

Board [518] 3095 << < > >> Save Delete New 180°

No. [1-9999] 3095 Width [mm] 75

Comment Thickness [mm] 44

Testpos [mm] 715 Length [mm] 2372

Knot [16] 1 << < > >> Save Delete New 180°

X [mm] 715 Pith S1\_Z [mm]

Comment Sound Pith S2\_Y [mm]

S1\_Z1 [mm] 10 S1\_Z2 [mm] 62 S1\_Dmin [mm] 44

Rotate Left ▾

S4\_Y1 [mm]

S4\_Y2 [mm]

S4\_Dmin [mm]

S2\_Y1 [mm]

S2\_Y2 [mm]

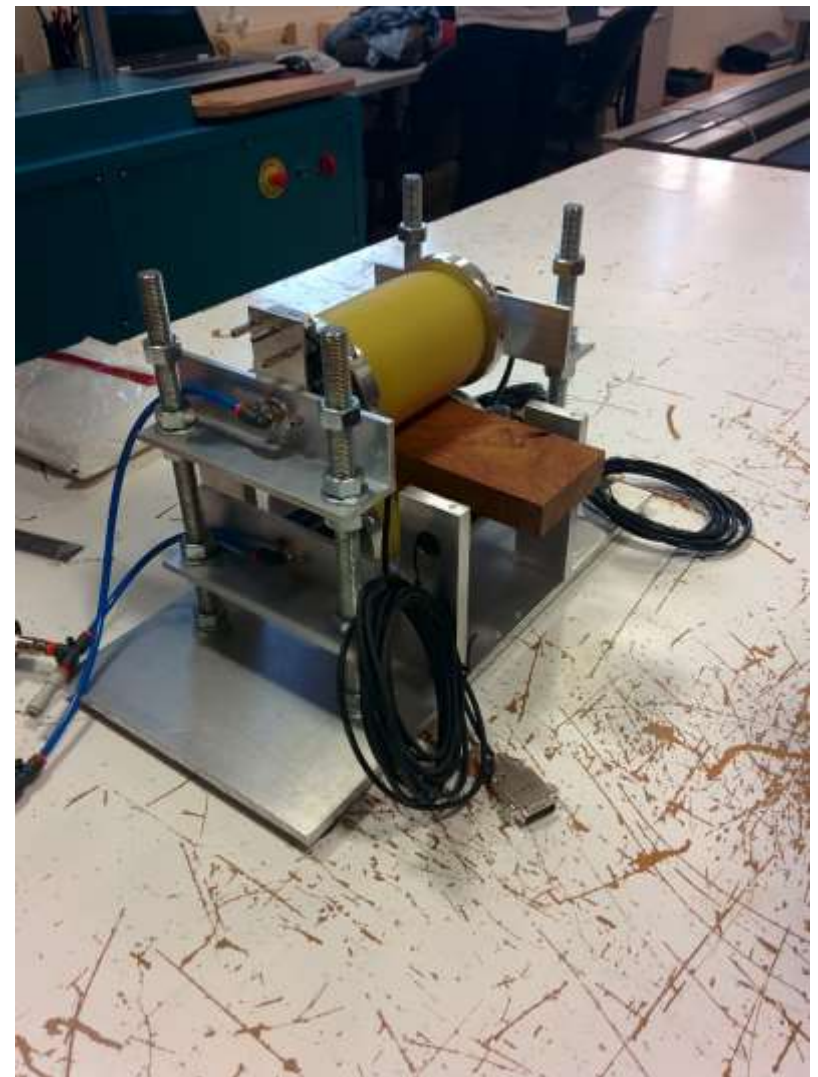
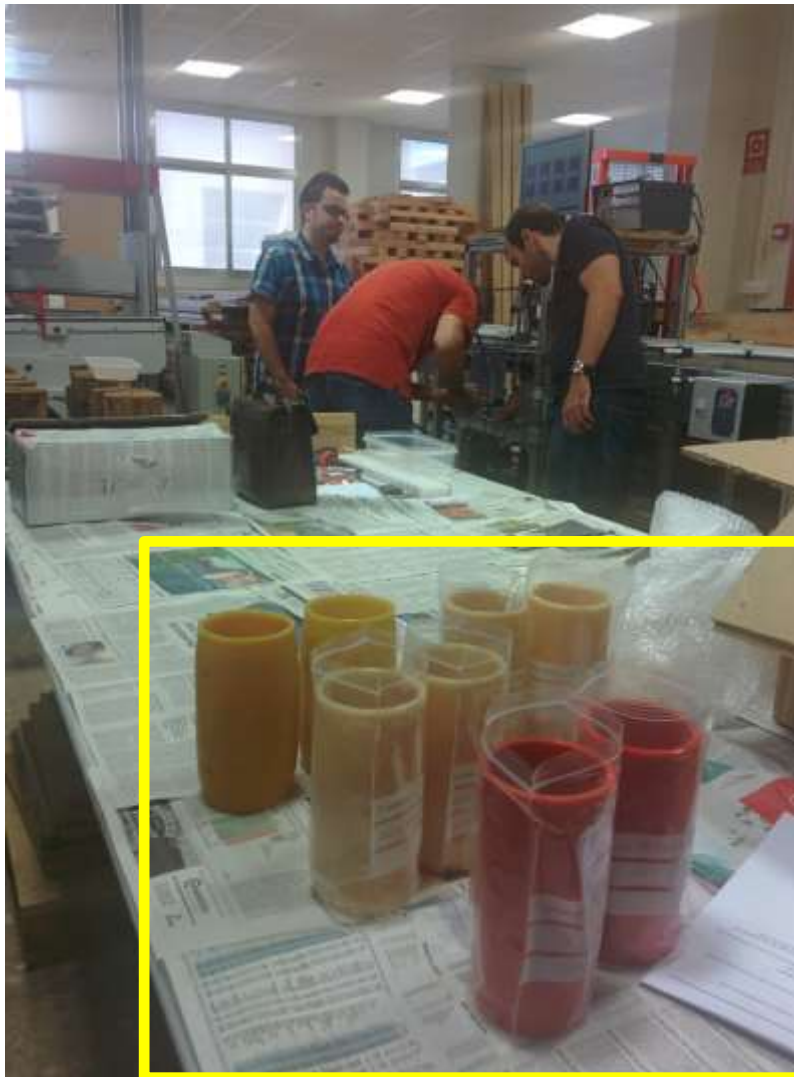
S2\_Dmin [mm]

S3\_Z1 [mm] 50 S3\_Z2 [mm] 75 S3\_Dmin [mm] 25

Draw

## Woodsonics scan: laboratory prototype

Woodsonics



## Woodsonics scan: laboratory prototype

Woodsonics



## Woodsonics scan: industrial prototype



**Surface moistening  
to improve the  
contact of the rollers**

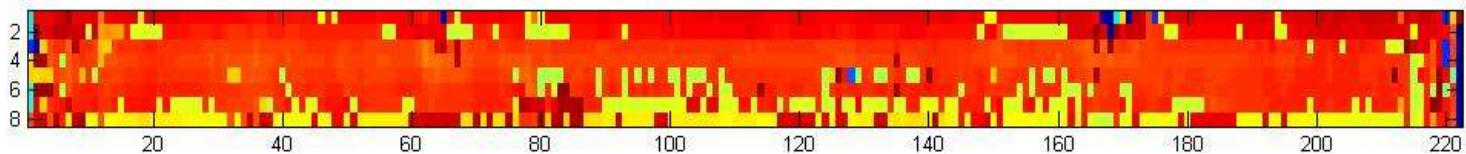


## Woodsonics scan: industrial prototype

Woodsonics

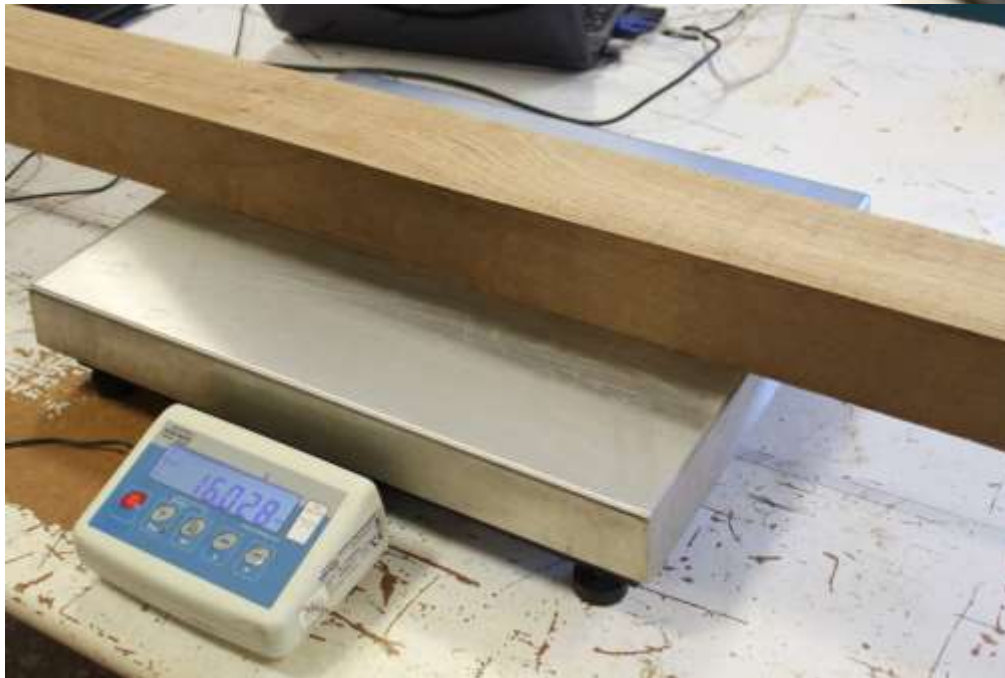


### Beam scanning



### Example of an electronic image

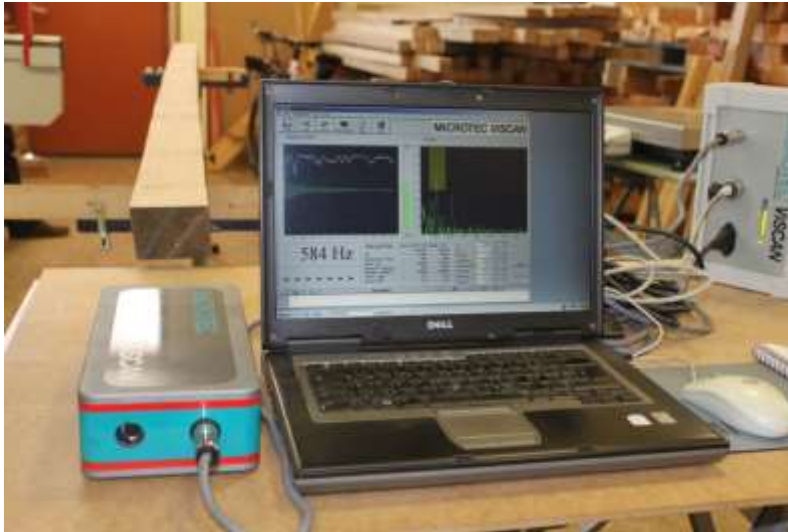
## Physical general properties



**Scale:** weight vs moisture

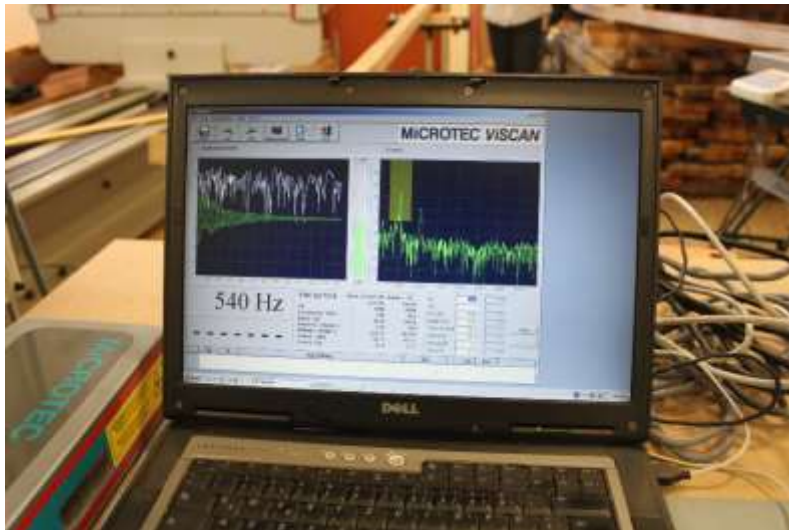


**Hygrometer (NDT)**



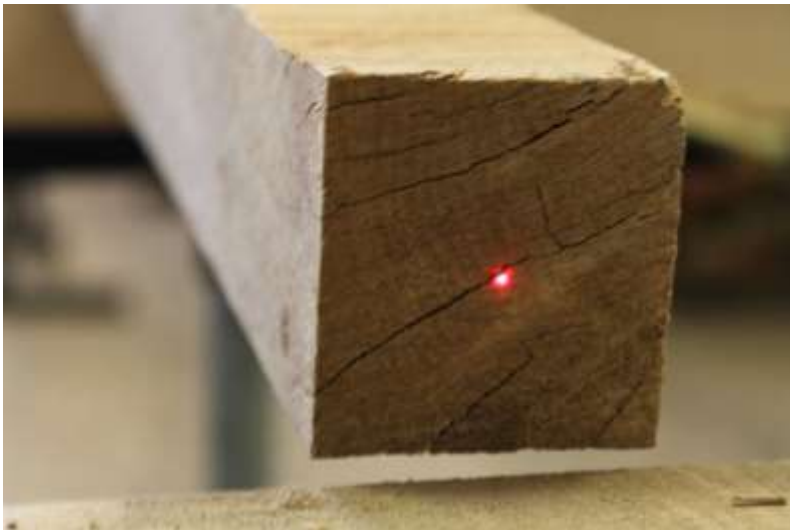
## VISCAN: timber vibration

Woodsonics

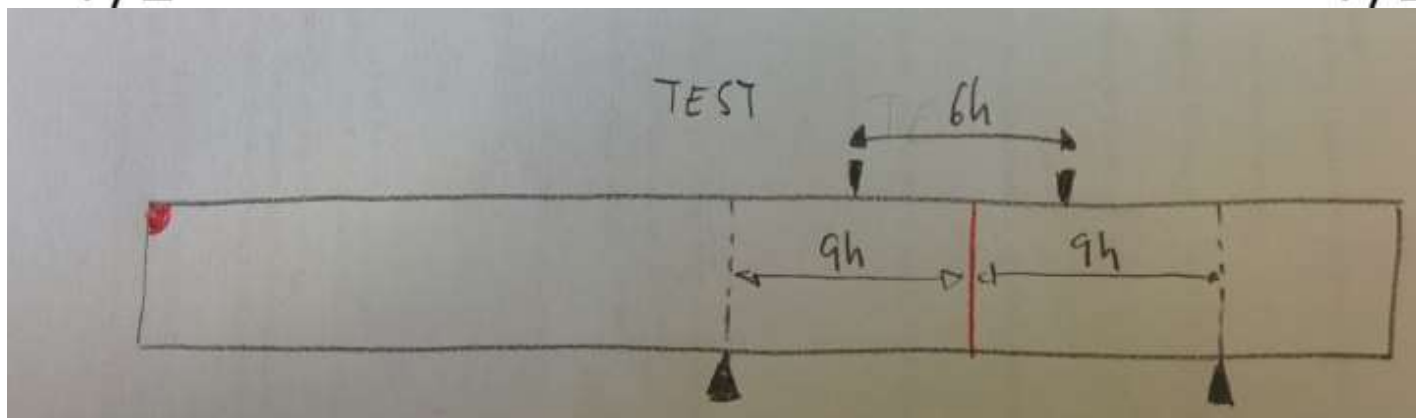
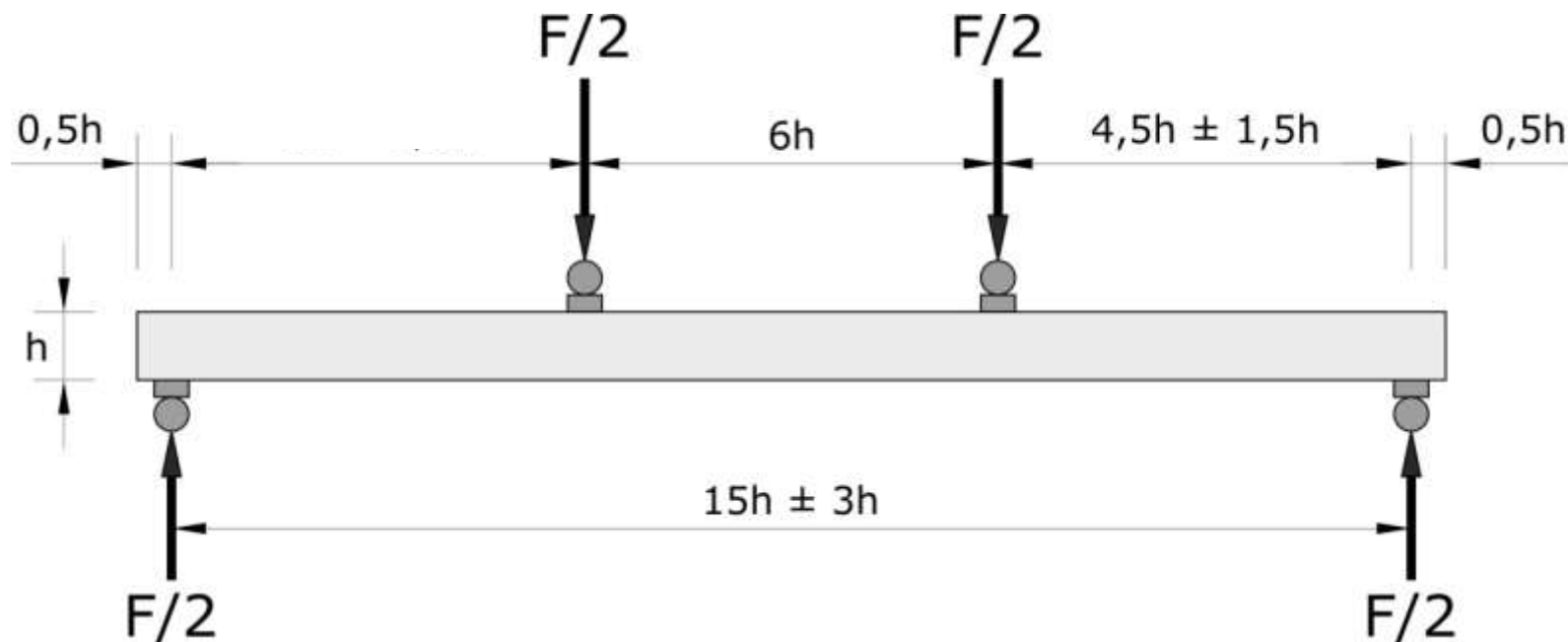


## VISCAN: laser measurement

Woodsonics



## Timber grading: bending tests



# Timber grading: bending tests

---

Woodsonics

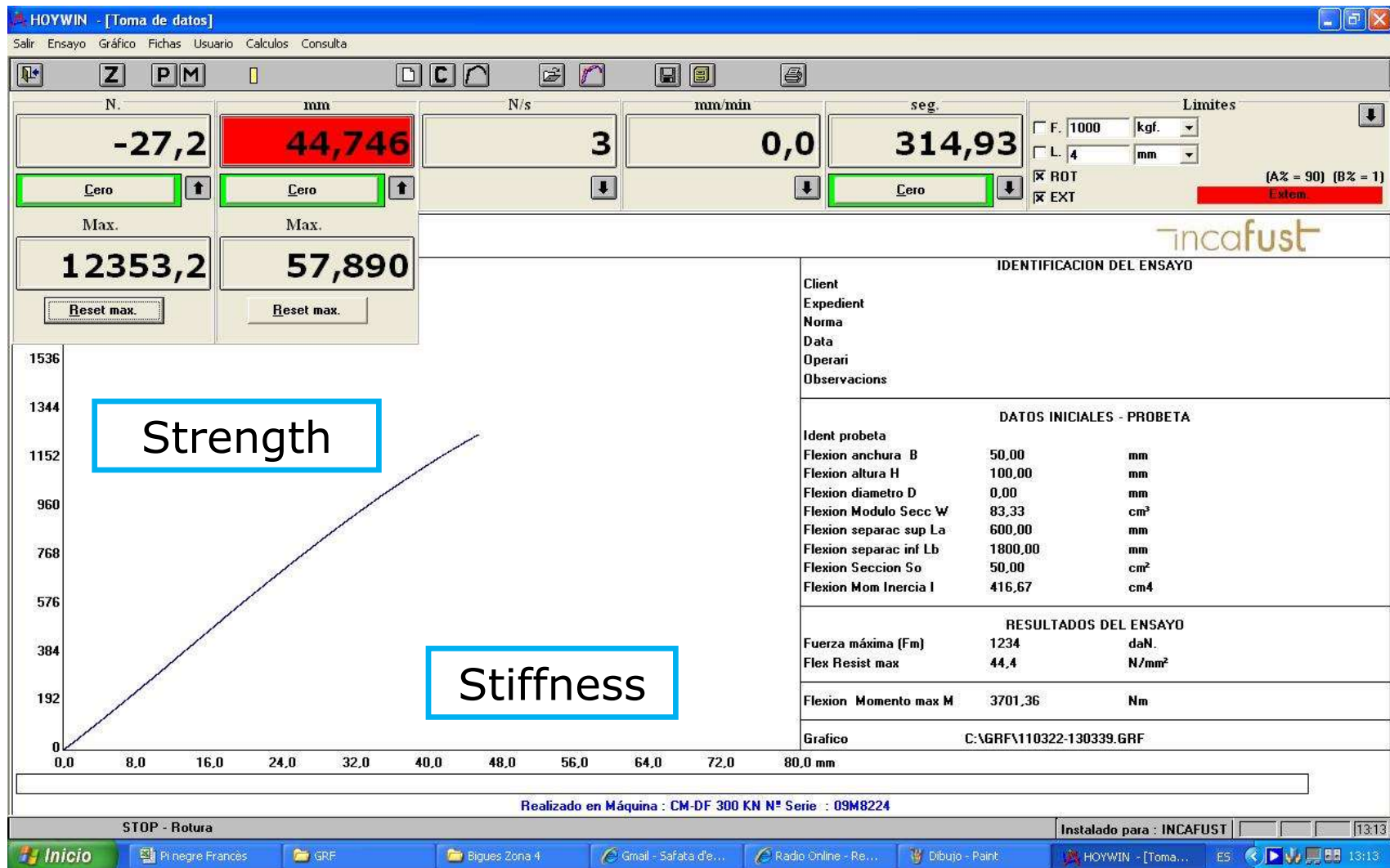


**Bending test EN 408**

**Test span: 18h**

**Test duration: 300  $\pm$ 120 s**

# Timber grading: bending tests



# Timber grading: density tests



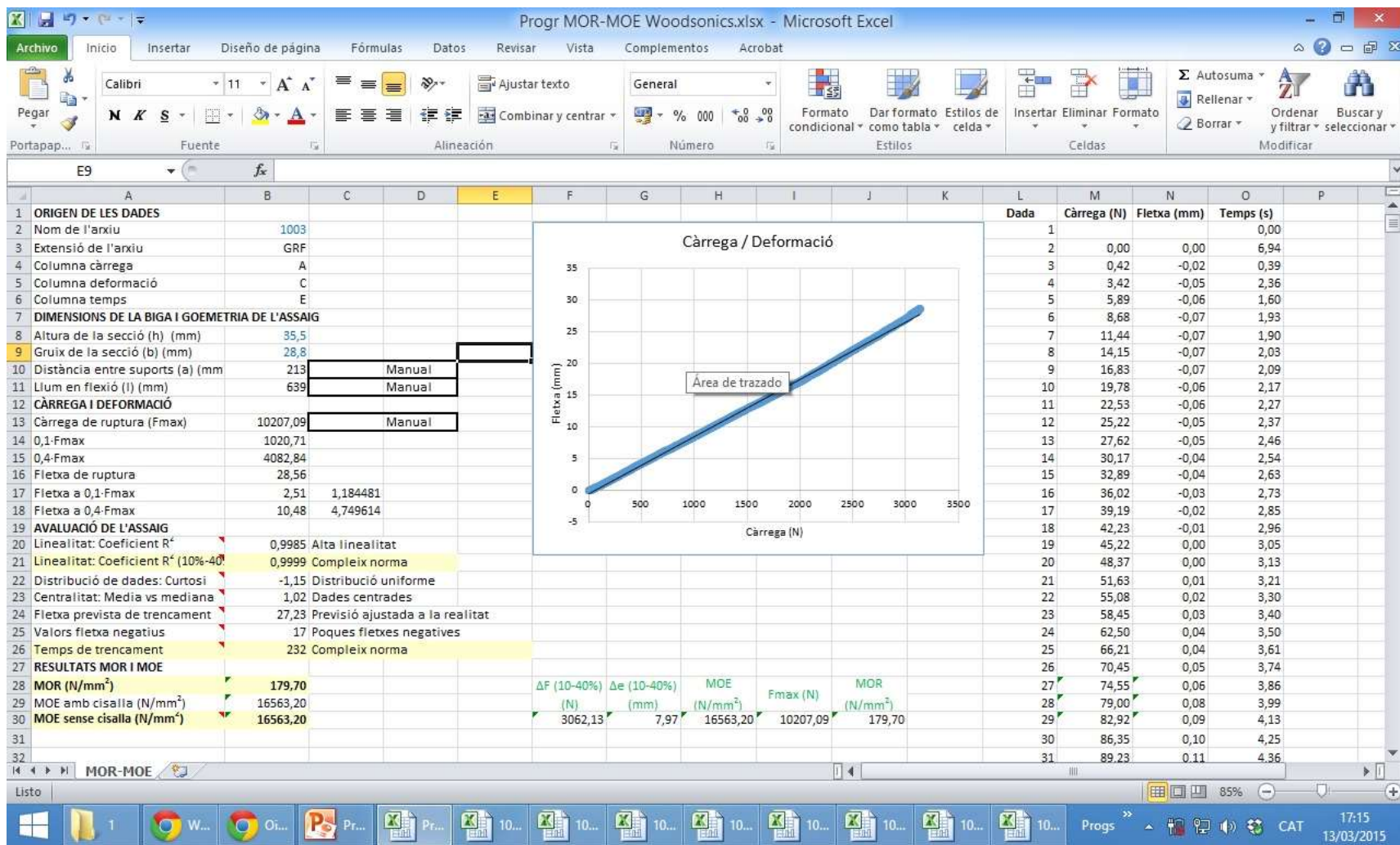
## Density test EN 408

Slice extracted by the  
breakage place

Oven dry at  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  / 24h



# MOR, MOE and density calculation



# 6

## MOR, MOE and density calculation

---

Woodsonics



**End of the test!!!**

# DANKE / GRAZIE / THANKS



**Seu social i administració**

Ctra. Sant Llorenç, km2  
25280 Solsona

**Tel. 973 48 42 31**

**Unitat tècnica  
de Lleida. Laboratori**

Parc de Gardeny. Edifici H2  
25003 Lleida

**Tel. 973 27 21 81**

**[info@incafust.org](mailto:info@incafust.org) | [www.incafust.org](http://www.incafust.org)**



# I Jornadas LIGNOMAD

## Barcelona 20 y 21 de junio 2016

### **Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo. Proyecto BIA2013-42434R**

Dr. D. Juan I. Fernández-Golfín Seco *et al.*  
INIA-CIFOR

Red para el impulso de la madera y otros materiales  
lignocelulósicos en el sector de la construcción



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona



Gicited  
Gràfic Interdisciplinari en Ciència i  
Tecnologia e Edificació



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD

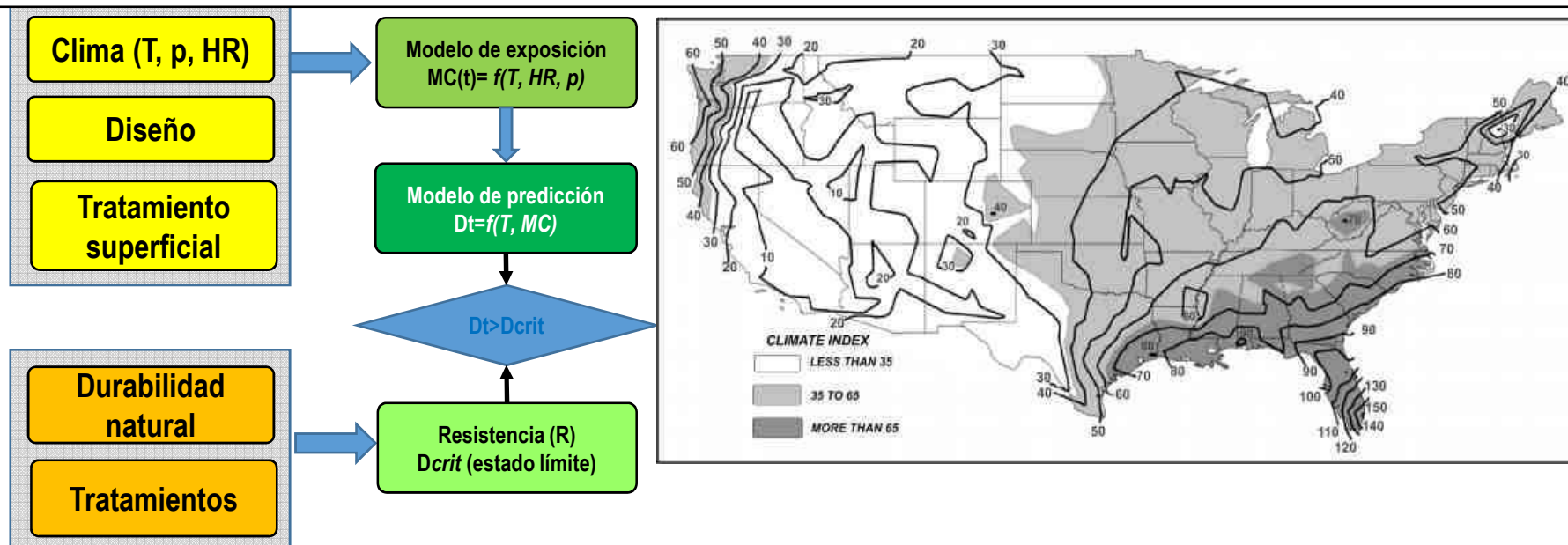
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo

### MODELO AMERICANO/AUSTRALIANO (etc)

- Clasificación del riesgo climático (zonificación) → **Índices climáticos** (Scheffer) → No permite estimar vida en servicio ni considerar el efecto del diseño

### MODELO EUROPEO DE PROTECCIÓN DE LA MADERA AL EXTERIOR FUERA DEL CONTACTO CON EL SUELO

- Estimación de la vida en servicio → **Modelos de predicción de pudrición** → **Basados en el clima del material** (T y MC) MEDIDO O ESTIMADO → Evalúan la tasa de pudrición acumulada (dosis) en cada momento y la comparan con la resistencia biológica (natural o conferida) del material
- Estimación del clima del material (cuando no se conoce directamente) → **Modelos de exposición** que ligan los factores externos (clima geográfico, factores agravantes climáticos y diseño) con el clima del material



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo

### MODELO AMERICANO/AUSTRALIANO (etc)

- Clasificación del riesgo climático (zonificación) → **Índices climáticos** (Scheffer) → No permite estimar vida en servicio ni considerar el efecto del diseño

### MODELO EUROPEO DE PROTECCIÓN DE LA MADERA AL EXTERIOR FUERA DEL CONTACTO CON EL SUELO

- Estimación de la vida en servicio → **Modelos de predicción de pudrición** → **Basados en el clima del material** (T y MC) MEDIDO O ESTIMADO → Evalúan la tasa de pudrición acumulada en cada momento y la comparan con la resistencia biológica (natural o conferida) del material
- Estimación del clima del material (cuando no se conoce directamente) → **Modelos de exposición** que ligan los factores externos (clima geográfico, factores agravantes climáticos y diseño) con el clima del material

### MODELO ESPAÑOL (INIA-IETcc) → Asignación a clase de uso

- Determinación de riesgo básico ( $I_0$ ) mediante el índice Scheffer modificado por condensación
- Mayoración/minoración del riesgo por efecto de factores incidentes (climatológicos locales, varios de diseño)

$$I_{s0} = \sum_{jan}^{dec} \frac{(T-2) ((D+N*C)-3)}{16.7}$$

Valor del I. Scheffer	Puntuación ( $I_{s0}$ )
IS ≤ 35 (Seca)	3
35 < IS ≤ 65 (Húmeda)	3,3
IS > 65 (Muy húmeda)	3,5

$$[I_{s0} * k_{s1}] * k_{s2} * k_{s3} * k_{s4} * \dots * k_{si} = I_{sk}$$



Índice de exposición básica ( $I_{s0}$ )	Aleros ( $K_{s2}$ )	Espeor ( $K_{s5}$ )	Asignación de clases de uso	
Severidad climática ( $K_{s1}$ )	Distancia al suelo ( $K_{s3}$ )	Riesgos Especiales ( $K_{s6}$ )	$I_{sk}$	Clase de uso (UNE-EN 335:2011)
	Retención y facilidad secado ( $K_{s4}$ )		0-1,4	1
			1,5-2,4	2
			2,5-3,4	3.1
			3,5-4,4	3.2
			>4,5	4
<b>CLIMA</b>	<b>DISEÑO</b>			

<p><b>Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo</b></p>
--

**MODELO ESPAÑOL (INIA-IETcc) → Asignación a clase de uso**

- Determinación de riesgo básico ( $I_o$ ) mediante índices (Scheffer modificado por condensación)
- Mayoración/minoración del riesgo por efecto de factores incidentes (climatológicos locales, varios de diseño)

- MODELO ESPAÑOL (INIA-IETcc) → Asignación a clase de uso**
- Determinación de riesgo básico ( $I_o$ ) mediante índices (Scheffer modificado por condensación)
  - Mayoración/minoración del riesgo por efecto de factores incidentes (climatológicos locales, varios de diseño)

$$I_{s0} = \sum_{jan}^{dec} \frac{(T-2) ((D+N*C)-3)}{16.7}$$

$$[I_{s0} * k_{s1}] * k_{s2} * k_{s3} * k_{s4} * \dots * k_{si} = I_{sk}$$


$$I_{s0} = \sum_{jan}^{dec} \frac{(T-2) ((D+N*C)-3)}{16.7}$$

$$[I_{s0} * k_{s1}] * k_{s2} * k_{s3} * k_{s4} * \dots * k_{si} = I_{sk}$$

 CrossMark

ORIGINAL

## Wood decay hazard in Spain using the Scheffer index: proposal for an improvement

Juan Fernandez-Gollin<sup>1</sup>  · Enrique Larrumbide<sup>2</sup> · Antonio Ruano<sup>1</sup> · Jorge Galvan<sup>2</sup> · Maria Conde<sup>1</sup>

### MODELO DE ESTIMACIÓN DE CONDENSACIÓN (C)

**BASES DATOS**

#### FACTORES DE MODIFICACIÓN POR DISEÑO ( $K_{Sl}$ )

**OBRAS/PERGOLA**

### EFEECTO DE LA ESPECIE/DEL PATRÓN DE CORTE

## EXPOSITORES

Table 2 Data for postnatal capitals (period 1971–2000)

Table 2 Data for potential capital spend (1971-2000)																
Potential Region	WCS	SCS	MSD	WLD	10 WLD	10 WLD	T	ME <sub>max</sub>	ME <sub>max</sub>	ME <sub>max</sub>	SD1A	SD	SD	SD	SD	SD
Albania	1.12	1.07	423.3	2094.2	0.72	0.62	157.123	10.4	8.4	8	21	34.10	12			
Algeria	0.01	1.18	559.6	1376.3	0.71	0.64	170.124	10.3	11.7	13.7	16	28.14	12			
Algeria	1.02	1.08	390.4	1181.5	0.72	0.60	167.123	10.5	11.0	2	7	17.24	10			
Andorra	1.67	0.19	150.0	2560.5	0.72	0.59	93.1	11.1	8	9	21	40.23	17			
Angola	0.00	1.00	90.3	1862.6	0.68	0.55	146.123	17.3	9.1	6.2	30	56.29	39			
Antigua	0.61	0.50	205.8	1917.0	0.64	0.58	132.1	13.6	14.6	25.0	17	13.11	1			
Aruba	0.61	0.50	177.7	2009.4	0.60	0.50	142.1	14	14.5	11.2	1	98	121.12	47		
Austria	1.76	0.54	330.0	2332.6	0.7	0.59	162.1	14.3	16.2	11.1	7.1	32	70.123	38		
Belgium	0.67	1.35	500.6	1961.1	0.67	0.51	161.009	15.7	6.9	8.8	30	65.22	35			
Cadiz	0.09	1.00	430.9	1115.9	0.73	0.65	156.137	15	22.6	2.4	28	39.14	11			
Canada	0.01	1.08	425.8	1025.9	0.67	0.6	177	12.7	13.5	13.9	1.6	16	78.13	32		
Chad	1.01	1.11	603.4	2466.2	0.74	0.69	147.119	17	6.1	6.9	30	51.24	25			
China West	0.04	1.83	696.2	1671.9	0.73	0.61	157	13.2	16.8	8	8.1	16	55.22	13		
A Comilla	0.68	0.00	33.9	1084.2	0.54	0.42	155.122	13.7	14.2	1.5	87	113.13	38			
Croatia	1.36	0.77	318.2	2881.7	0.7	0.56	128.119	11.6	8	7.9	28	62.22	10			
Czechia	0.01	0.72	303.1	2008.0	0.6	0.55	142.138	13.7	11.4	4.7	34	39.14	1			
Denmark	0.01	1.32	509.4	2258.2	0.73	0.61	151.1	15.1	7.3	7.6	19	88.22	29			
Dominican	1.10	0.65	176.8	2160.0	0.69	0.51	163.144	13	6.6	6.2	28	31.12	72			
Ecuador	0.16	1.44	550.3	1271.9	0.74	0.61	143.121	15	9.4	5.6	26	62.24	36			
Egypt	1.13	0.83	551.1	2260.9	0.69	0.58	150.139	16.7	8.8	7.9	27	39.14	11			
Finland	0.54	1.80	670.7	1975.8	0.74	0.62	137.1	14.1	7.1	6.8	25	30.12	3			
France	1.29	0.38	107.2	3120.8	0.7	0.58	80.123	17.4	10.2	12.2	21	72.22	45			
Germany	1.04	0.80	292.5	2474.2	0.69	0.53	135.123	19	10.4	5.6	40	54.14	14			
Ghana	0.01	1.13	441.5	2338.0	0.71	0.58	147.124	17.4	9.1	6.1	26	49.22	42			
Greece	1.03	0.66	78.2	2566.6	0.62	0.40	115.123	18.1	0	4.1	10	109.19	13			
Haiti	0.06	1.00	986.2	2174.2	0.72	0.55	146.107	14.6	1.1	7.9	22	42.22	39			
Hungary	1.20	1.33	496.3	1276.1	0.72	0.61	16	12.4	14.2	8.0	5.4	16	88.23	28		
India	0.07	1.68	427.0	1543.3	0.69	0.59	146.126	11.1	4.9	4.2	10	80.24	25			
Indonesia	0.60	0.77	318.8	2160.0	0.67	0.41	142.123	15.4	10.9	4.6	5.4	105.10	17			
Israel	1.01	1.00	68.2	2379.0	0.66	0.40	129.106	16.3	14.8	1.2	9	126.16	45			
Japan	1.35	0.41	393.2	3031.4	0.74	0.56	117.126	16.6	9	9.8	31	54.13	32			
Mexico de Mexico	1.02	1.26	664.4	1356.3	0.69	0.6	19	11.5	14	12.1	17	23	61.15	14		
Mozambique	1.26	0.45	210.4	3716.6	0.63	0.5	125.13	16	20.8	1.4	40	94.10	45			
Netherlands	0.01	0.74	301.6	1917.7	0.69	0.46	146.122	14.3	12.1	2.4	40	67.11	7			
Netherlands	1.41	0.99	254.3	2805.7	0.73	0.59	117.111	16.1	9.4	8.7	21	33.13	31			
New Zealand	0.01	0.80	83.1	2280.3	0.62	0.49	142.133	17	14.6	2.4	88	133.14	38			
Norway	0.68	0.68	722	1896.7	0.65	0.47	141.146	15.4	14.2	12	80	127.14	33			
Peru	1.04	1.05	262.6	2815.5	0.71	0.5	119.113	12.8	8.2	7	25	39.16	14			
Senegal	0.28	1.87	324.4	1447.8	0.74	0.66	146.113	14.3	8.3	6.5	25	30.15	11			
Senegal	1.68	0.42	99.7	3236.3	0.7	0.52	30.13	16.4	10	4.4	4	88.22	37			
Sri Lanka	0.68	1.25	516.6	1587	0.66	0.59	173.118	13.1	10.5	26	20	44.14	21			
Taiwan	1.45	0.62	286.3	3814.8	0.69	0.59	111.128	16.1	9.6	6.5	12	82.13	33			
Taiwan	0.81	1.29	604.4	2200.0	0.71	0.61	115.122	16.5	8	6.7	21	80.17	16			
Taiwan	0.81	1.06	473.9	1893.1	0.69	0.6	178.121	12.3	11.7	1.2	30	62.14	36			
Vietnam	1.34	0.72	391.7	2843.4	0.72	0.55	123.123	17.7	8.7	9	22	61.23	34			
Vietnam	1.31	1.17	114.5	2804.2	0.68	0.47	114.149	17.7	10.3	4.2	76.17	32				
Zambia	1.24	0.66	280.1	2759.3	0.73	0.57	128.124	17.4	9	8.4	26	80.19	29			

## Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo

**MODELO ESPAÑOL (INIA-IETcc) → Asignación a clase de uso**

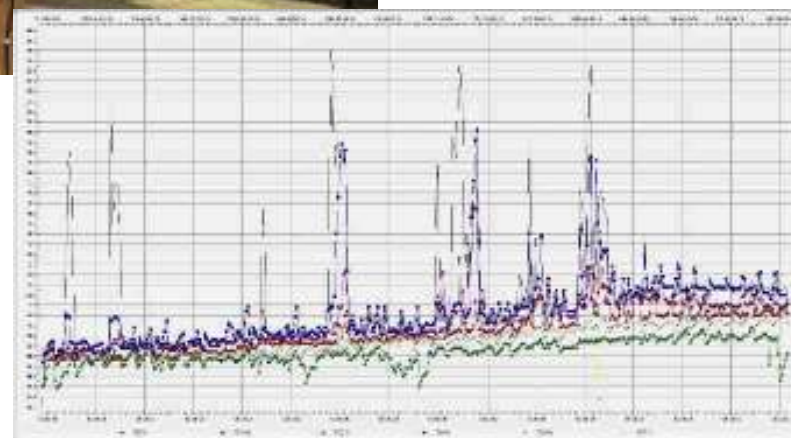
- Determinación de riesgo básico ( $I_o$ ) mediante índices (Scheffer modificado por condensación)
- Mayoración/minoración del riesgo por efecto de factores incidentes (climatológicos locales, varios de diseño)

**FACTORES DE MODIFICACIÓN POR DISEÑO ( $K_{SI}$ )**

**PERGOLA**



- Monitorización en continuo de MC y Tª
  - ✓ Efecto unión
  - ✓ Efecto voladizo
  - ✓ Separación del suelo
  - ✓ Difusión en la pieza



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo

**MODELO ESPAÑOL (INIA-IETcc) → Asignación a clase de uso**

- Determinación de riesgo básico ( $I_o$ ) mediante índices (Scheffer modificado por condensación)
- Mayoración/minoración del riesgo por efecto de factores incidentes (climatológicos locales, varios de diseño)

**FACTORES DE MODIFICACIÓN POR DISEÑO ( $K_{SI}$ )**

**OBRAS**



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo

Registro en continuo del M.C. y Tª en siete climas peninsulares distintos: analizando efecto de la especie, de los eventos climáticos (lluvia, condensación) y de...

- Siete sitios (Llanes, Vitoria, Palencia, Valencia, Madrid, Córdoba, Huelva)
- Siete especies: Eucalipto (**EU**), Laricio P. (**PL**), Picea (**PC**), P. silvestre (**PS**), P. Radiata (**PR**), Castaño (**CS**), P. Radiata termotratado (**PRMMT**) y en Madrid también P. silvestre de gruesa escuadría (**PSMEG**)

**EFFECTO DEL CLIMA, LA ESPECIE/DEL PATRÓN DE CORTE**

**EXPOSITORES**



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo

Registro en continuo del M.C. y T<sup>a</sup> en siete climas peninsulares distintos: analizando efecto de la especie, de los eventos climáticos (lluvia, condensación) y de...

- Tres localidades de clima costero (Llames, Valencia, Huelva)
- Cuatro localidades de interior con clima continental (Madrid, Palencia, Córdoba, Vitoria)
  - Muy frío en invierno (Palencia) con condensación ocasional y verano muy caluroso y seco
  - Muy frío en invierno con condensación muy frecuente (Vitoria), verano caluroso y seco
  - Muy caluroso en verano con condensaciones suaves en invierno (Córdoba)
  - Frío en invierno y seco y caluroso en verano (Madrid)



Llames, Costa Atlántica



Estuario de Huelva



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

### Efecto de la especie: El caso de Madrid (Interior, Clima continental)



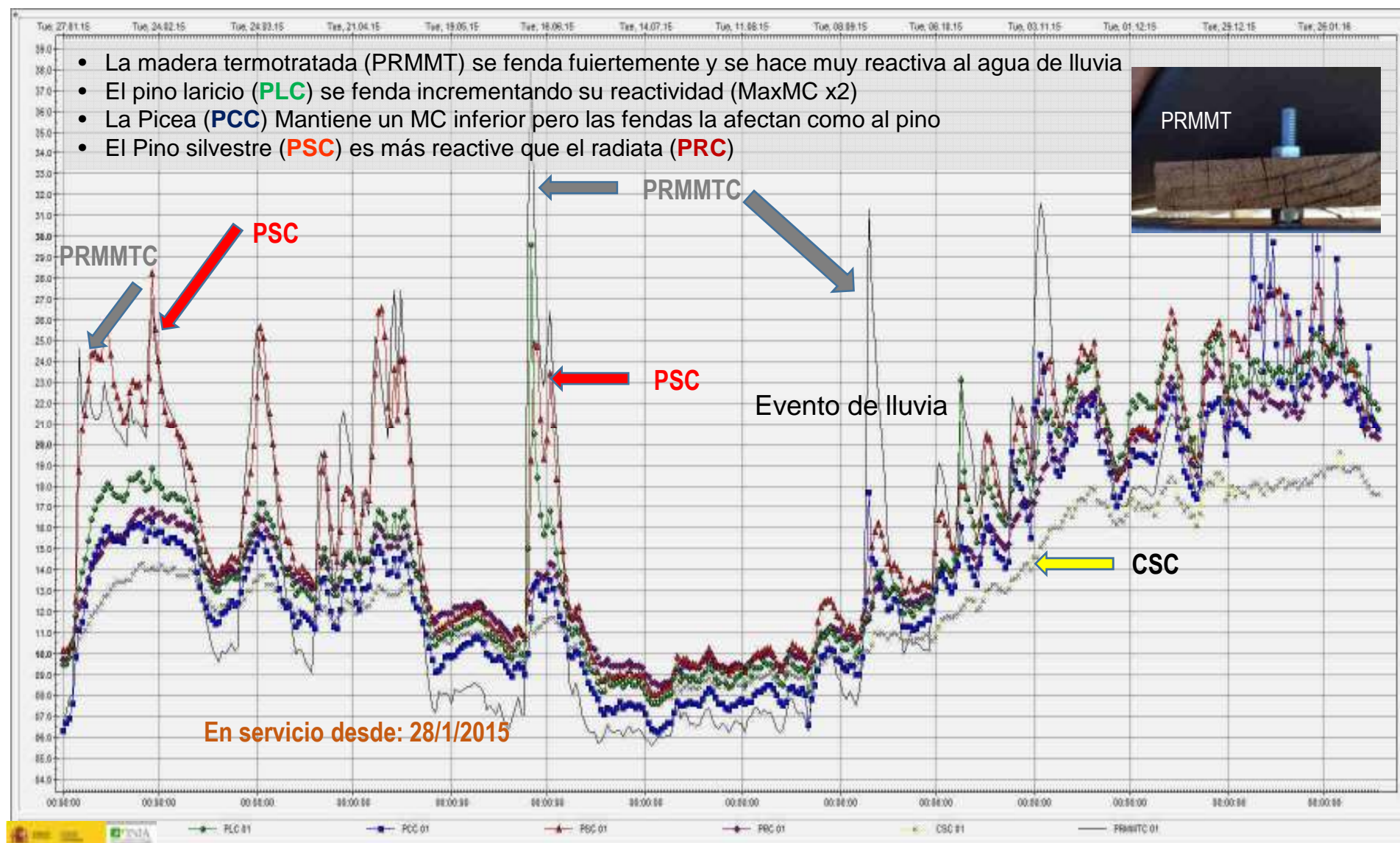
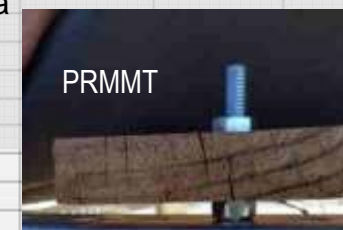
### Efecto de la especie: El caso de Madrid (Interior, Clima continental)



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

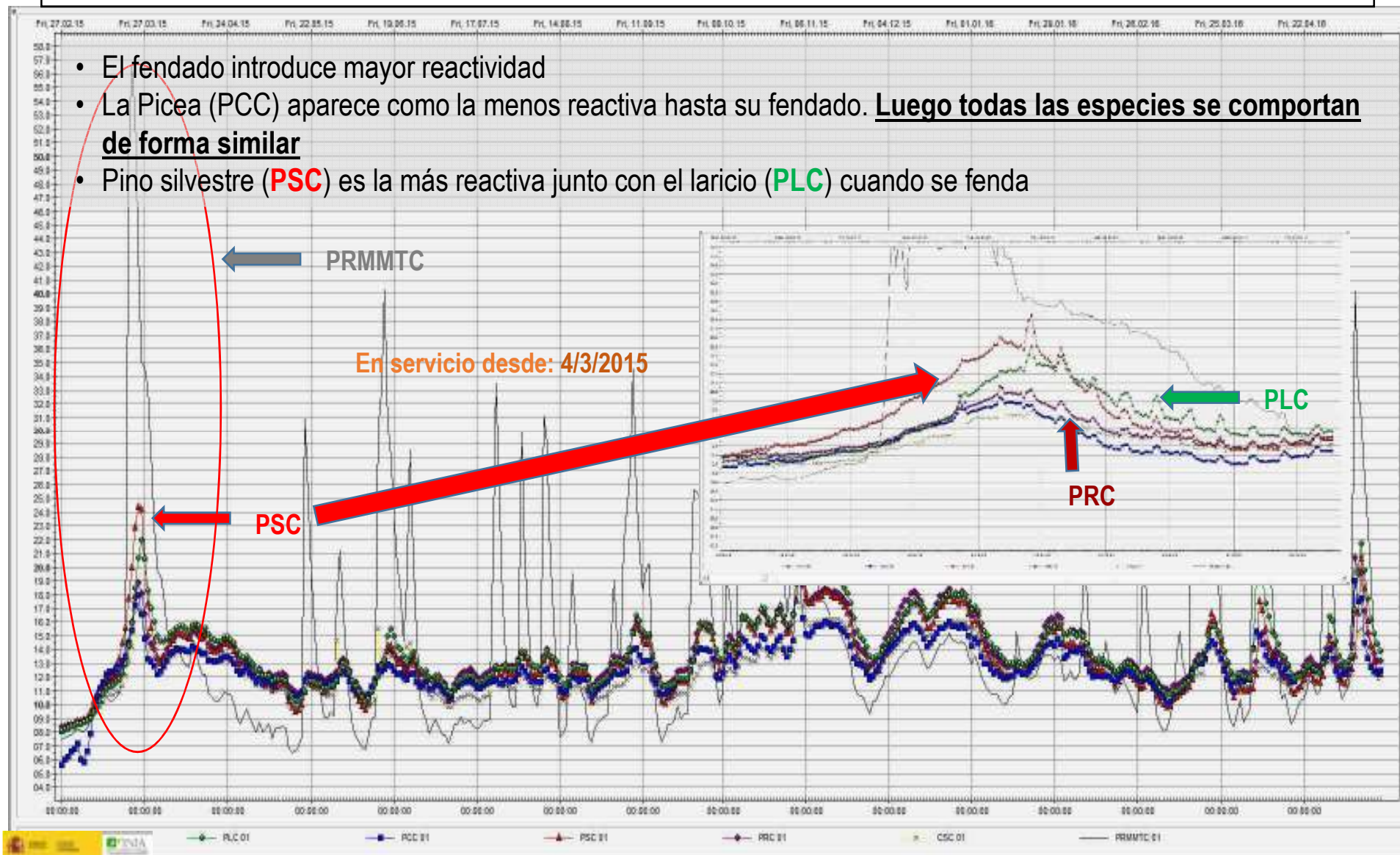
### Efecto de la especie: El caso de Palencia (Interior, Clima continental)

- La madera termotratada (PRMMT) se fenda fuertemente y se hace muy reactiva al agua de lluvia
- El pino laricio (PLC) se fenda incrementando su reactividad (MaxMC x2)
- La Picea (PCC) Mantiene un MC inferior pero las fendas la afectan como al pino
- El Pino silvestre (PSC) es más reactivo que el radiata (PRC)



### Efecto de la especie: El caso de Valencia (Clima costero Mediterraneo)

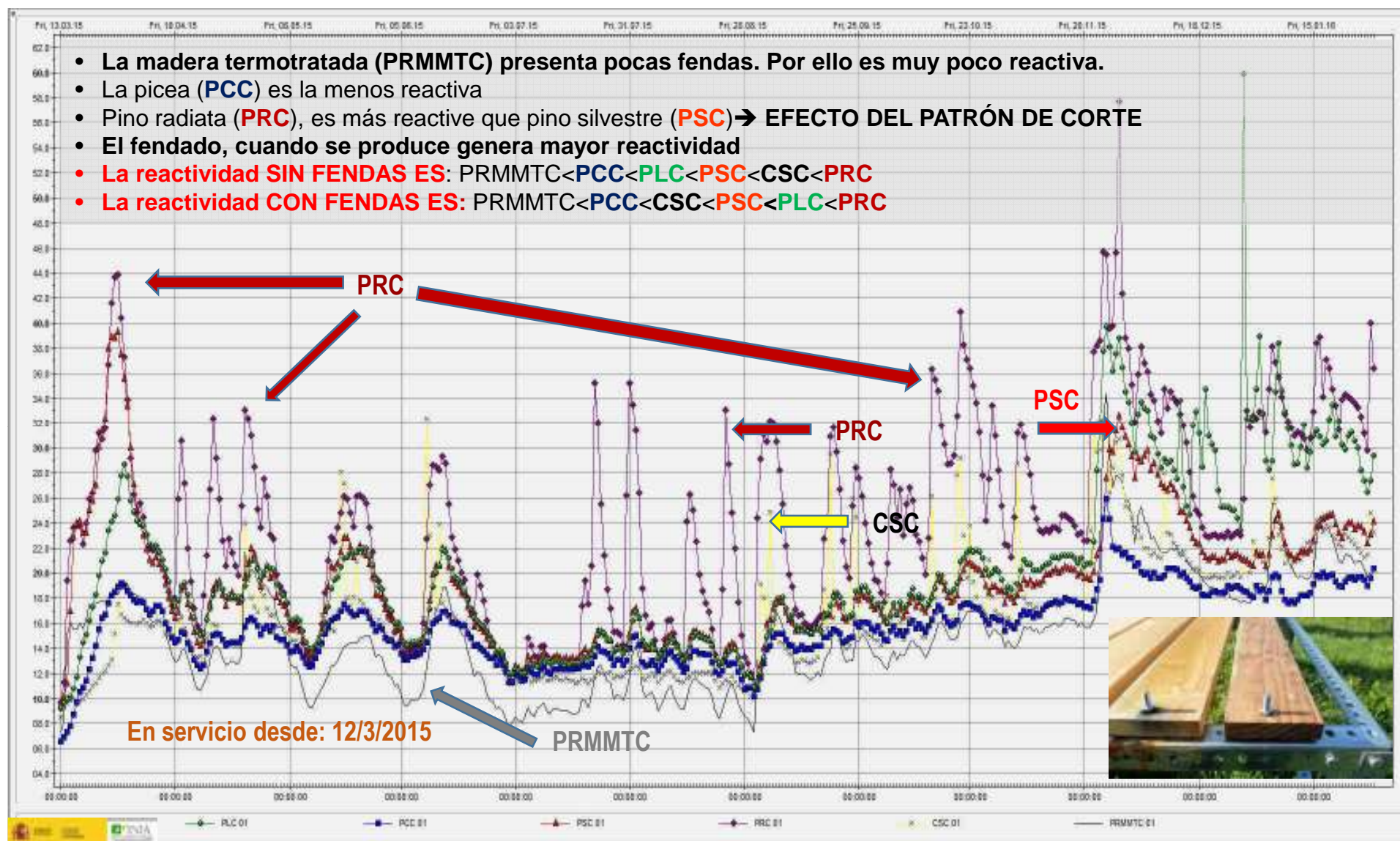
- El fendado introduce mayor reactividad
- La Picea (PCC) aparece como la menos reactiva hasta su fendado. **Luego todas las especies se comportan de forma similar**
- Pino silvestre (**PSC**) es la más reactiva junto con el laricio (**PLC**) cuando se fenda



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

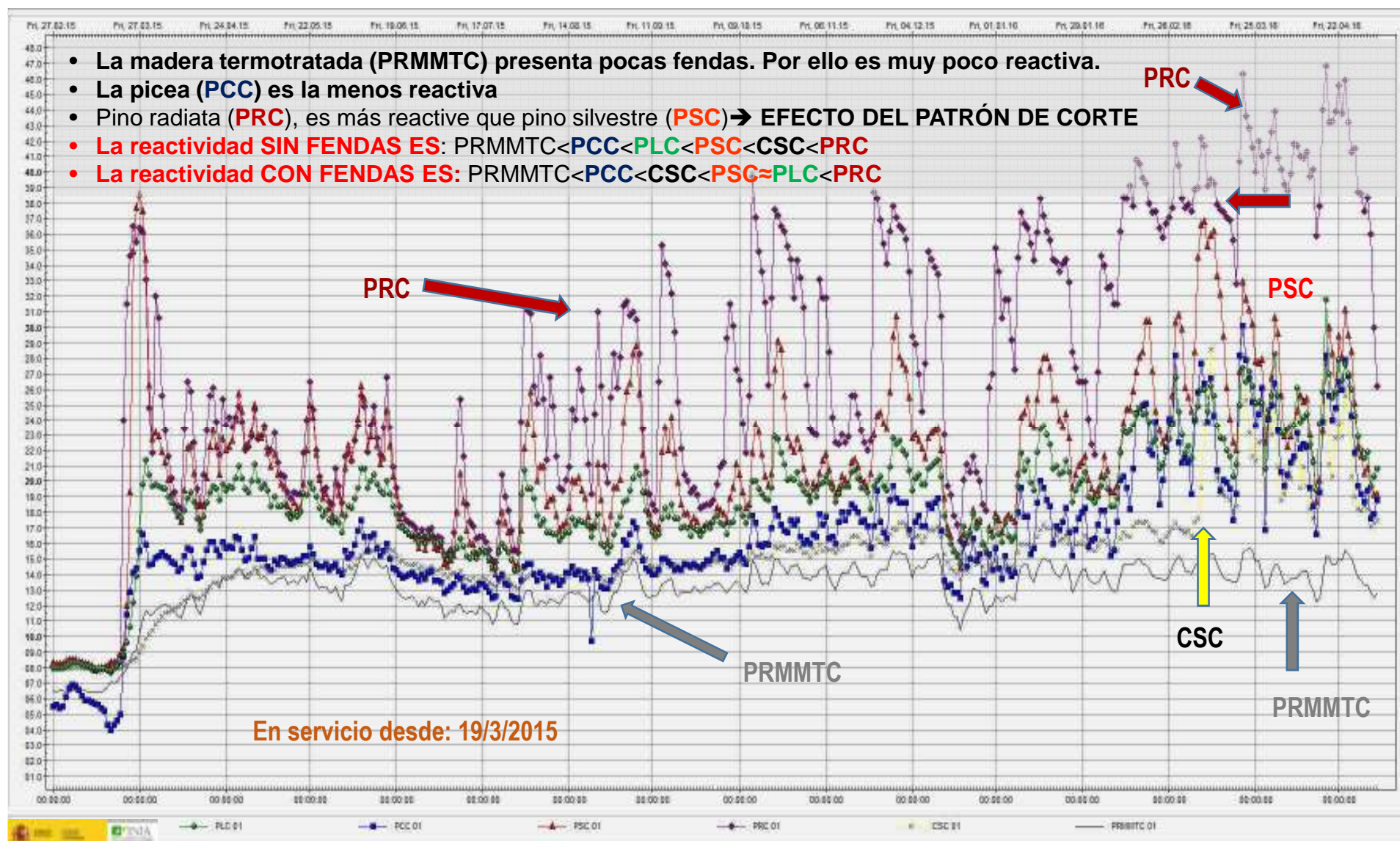
### Efecto de la especie: El caso de Vitoria (Clima Continental climate, Fuertes condensaciones)

- La madera termotratada (PRMMTC) presenta pocas fendas. Por ello es muy poco reactiva.
- La picea (PCC) es la menos reactiva
- Pino radiata (PRC), es más reactivo que pino silvestre (PSC) → EFECTO DEL PATRÓN DE CORTE
- El fendado, cuando se produce genera mayor reactividad
- La reactividad SIN FENDAS ES: PRMMTC < PCC < PLC < PSC < CSC < PRC
- La reactividad CON FENDAS ES: PRMMTC < PCC < CSC < PSC < PLC < PRC



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

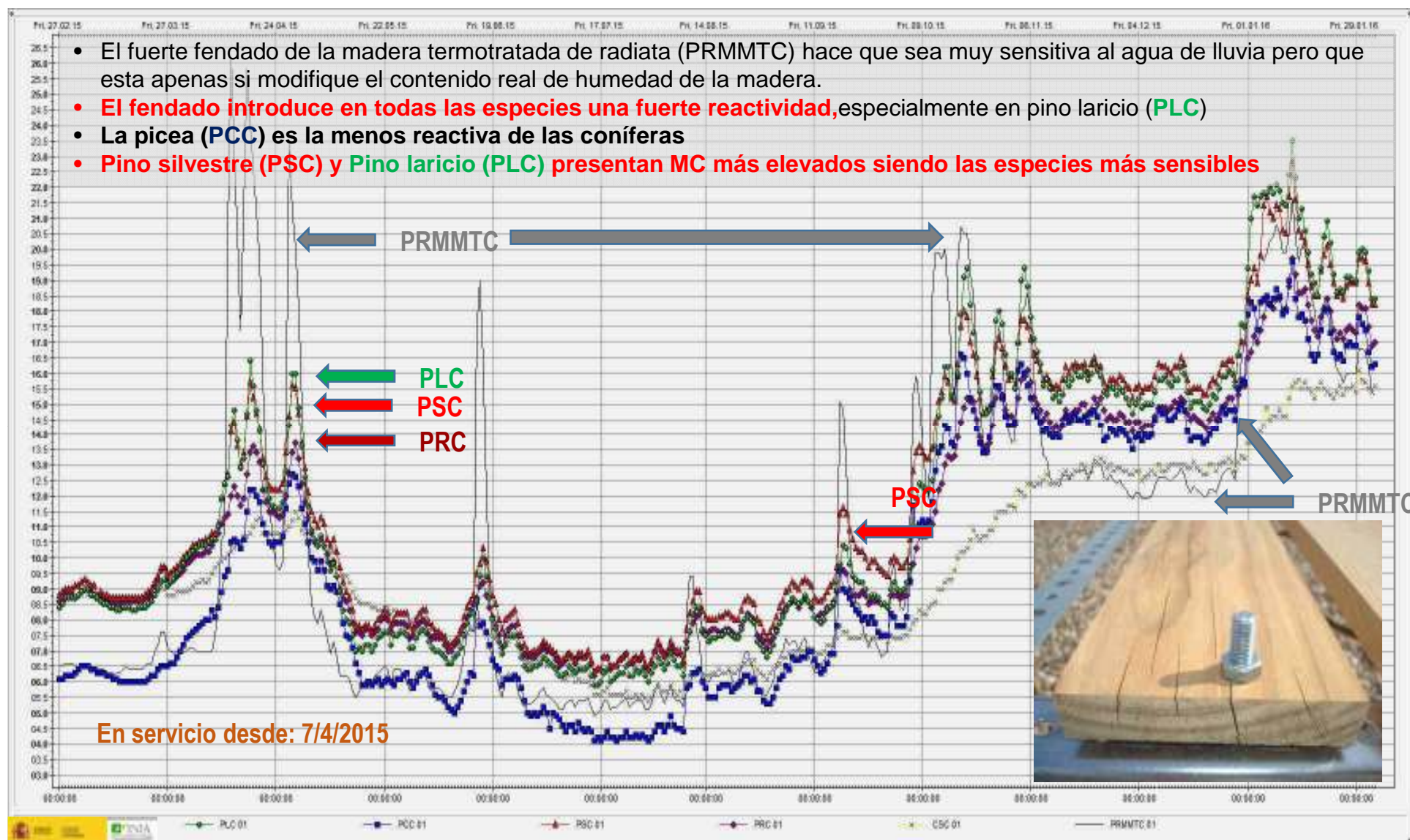
### Efecto de la especie: El caso de Llames (Clima costero, Clima Atlántico)



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

### Efecto de la especie: El caso de Cordoba (Interior, Clima Continental)

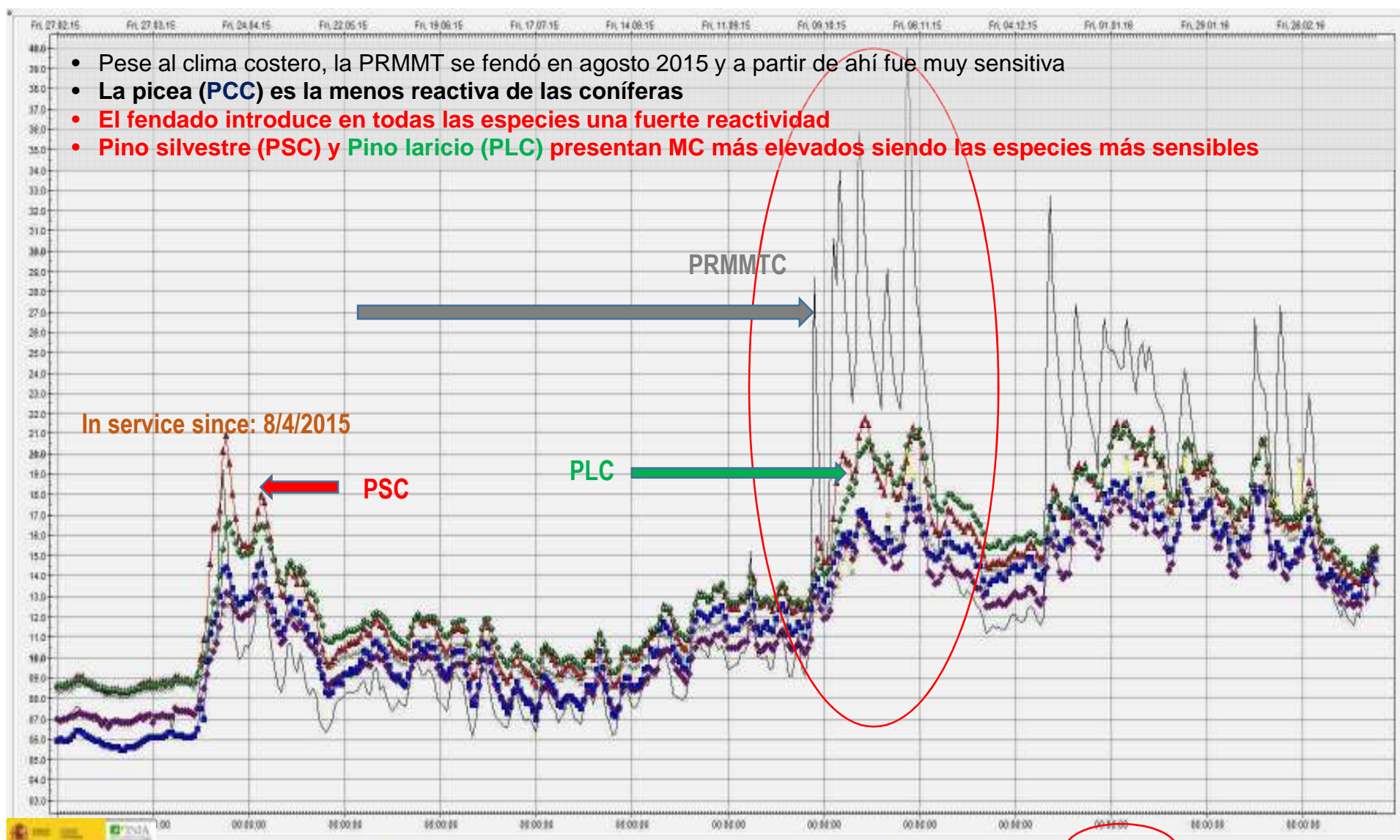
- El fuerte fendado de la madera termotratada de radiata (PRMMTC) hace que sea muy sensitiva al agua de lluvia pero que esta apenas si modifique el contenido real de humedad de la madera.
- **El fendado introduce en todas las especies una fuerte reactividad**, especialmente en pino laricio (PLC)
- La picea (PCC) es la menos reactiva de las coníferas
- **Pino silvestre (PSC) y Pino laricio (PLC) presentan MC más elevados siendo las especies más sensibles**



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

### Efecto de la especie: El caso de Huelva (Clima costero. Atlántico sur)

- Pese al clima costero, la PRMMT se fendió en agosto 2015 y a partir de ahí fue muy sensitiva
- La picea (PCC) es la menos reactiva de las coníferas
- El fendado introduce en todas las especies una fuerte reactividad
- Pino silvestre (PSC) y Pino laricio (PLC) presentan MC más elevados siendo las especies más sensibles



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

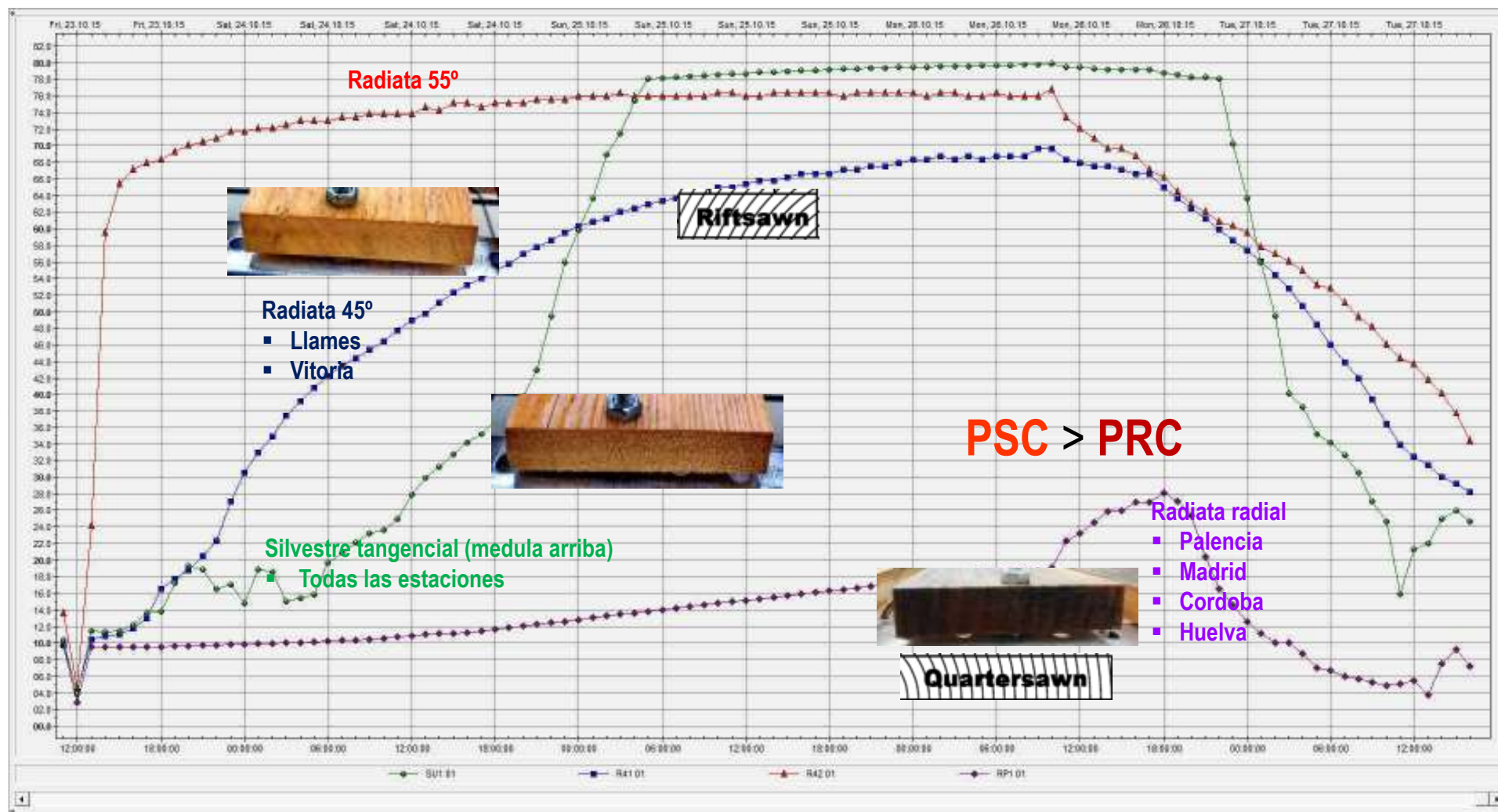
### ALGUNAS CONCLUSIONES

- Lo que más diferencia el comportamiento sorptivo al exterior de las especies es la lluvia, no la humedad relativa
- La humedad por si sola no pone en riesgo a la madera ( $MC > 20\%$ ), el factor incidente es la lluvia
- El “tiempo de mojado” (TOW) ( $MC > 25\%$ ) es muy reducido en todas las estaciones pero sin embargo al año de la exposición ya se empieza a notar el comienzo de las pudriciones (Madrid, Palencia) PESE A QUE LOS MODELOS EUROPEOS NO LO PREDICEN
- **El fendado cambia totalmente el comportamiento de las coníferas**, incrementando su sorptividad e igualándola en cierta medida. **De nada sirve la caracterización higroscópica de estas maderas, es necesario inducir fendas y reanalizar.** Ej. Laricio funciona muy bien hasta que se fenda
- El fendado reduce el efecto inicial de la masividad del elemento (ME vs MEG)
- **La madera termotratada se fenda mucho en la zona interior**
- Como norma general la sorptividad al agua de las diferentes especies (sin fendado) es como sigue:  $PRMMTC < CSC \approx PCC < PLC < (PSC \approx PRC)??$ 
  - La picea (PCC) suele ser la menos reactiva de las coníferas y el Pino silvestre y el laricio (fendado) las que más
  - El castaño funciona de forma mejor que la picea (salvo en Vitoria)
- **El patrón de corte parece modificar el comportamiento sorptivo....**

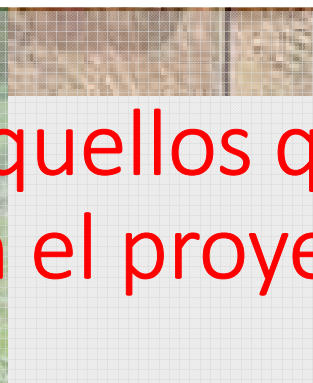
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

### Efecto del patrón de aserrado

- La orientación de los anillos respecto de la cara modifica totalmente la respuesta del pino radiata



# Gracias a todos aquellos que están contribuyendo en el proyecto



MAO  
nio 2016



E. Perea (privado)  
R. Capuz (privado)  
R. Sánchez (UCO)  
C. Perez-Carral (UHU)  
L. Acuña (UVA-Palencia)  
M. Conde (INIA)  
R. Díez (INIA)  
F. Peraza (AITIM)  
M. Conde (UCO)  
E. Martínez (UE)  
E. Nuere (Taujel)  
A. Ortiz (Neiker)  
J. Galván (IETcc-CSIC)  
E. Larrumbide (IETcc-CSIC)  
MT. Troya (INIA)  
JL García Ceca (INIA)  
B. Abad (INDITECMA)



**taujel**  
CARPINTERÍA HISTÓRICA

GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

INIA  
Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEmet  
Agencia Estatal de Meteorología

CSIC

UNIVERSIDAD DE PALENCIA



# LIGNOMAD



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

**PEMADE**  
PLATAFORMA DE ENXEÑERÍA  
DA MADEIRA ESTRUTURAL



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

INSTITUTO  
EDUARDO  
TOR  
ROJA



**CÁTEDRA  
MADERA**



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN  
ESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍA  
DE LA MADERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

catalan institute of wood  
**incafust**  
institut català de la fusta

