



Universidad  
de Navarra | CÁTEDRA  
MADERA

# 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



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona

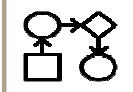




El problema



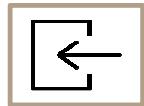
Una solución posible



Algoritmo para el material madera



Verificación



Técnicas adicionales para el modelado de uniones



Modelado del contacto



Elementos cohesivos



Resultados y conclusiones





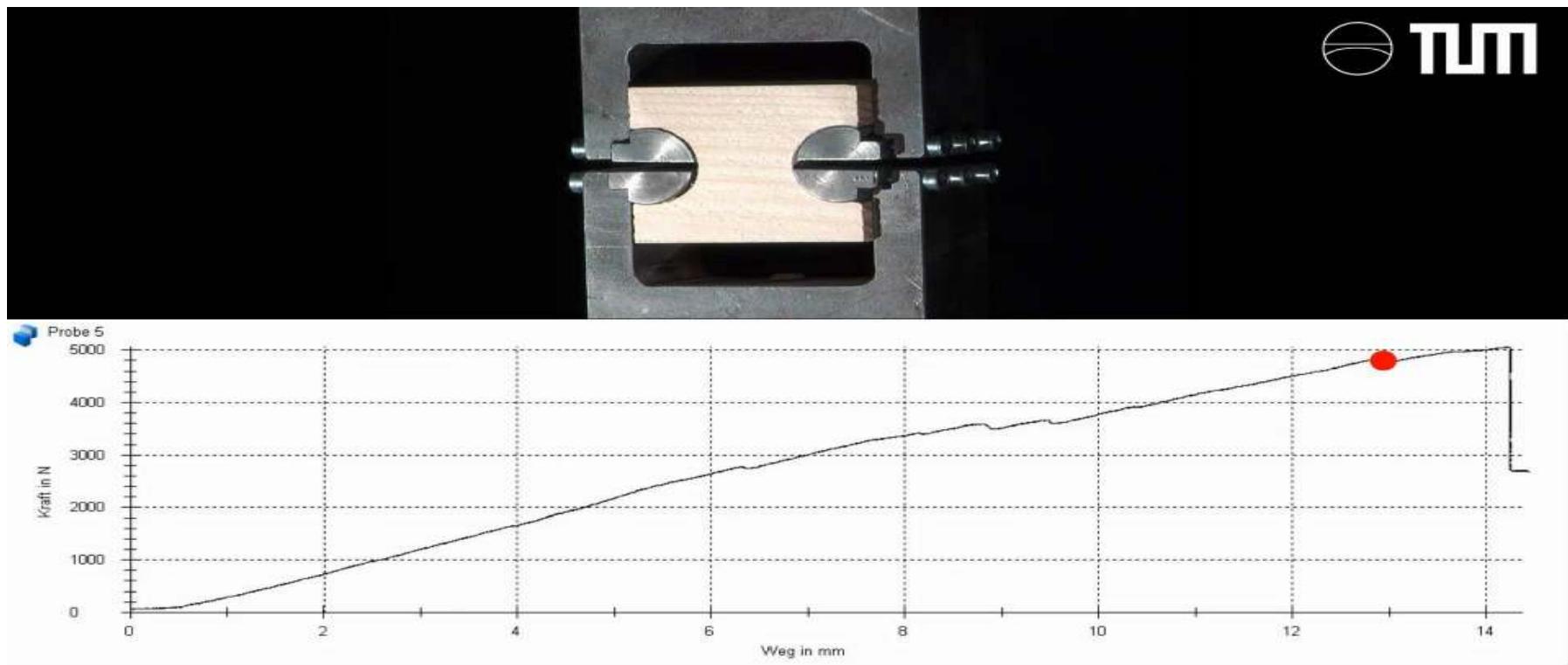
Universidad  
de Navarra

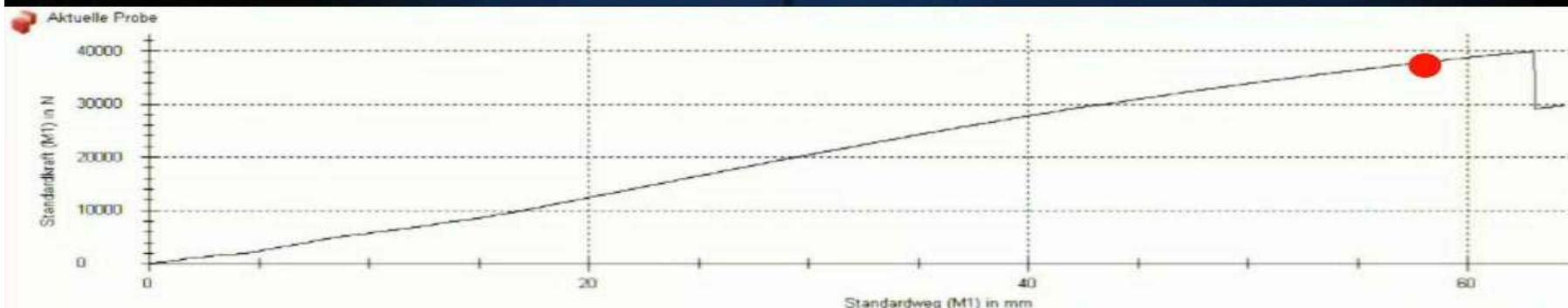
CÁTEDRA  
MADERA

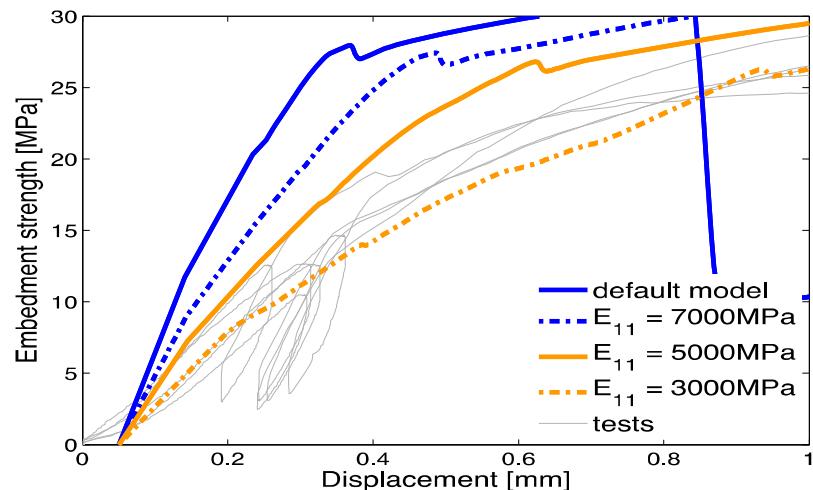
I Jornadas LIGNOMAD  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016



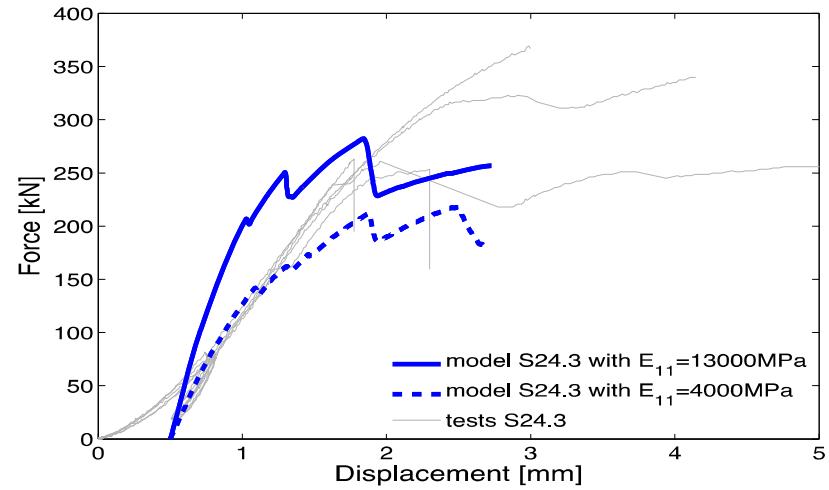
El problema







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

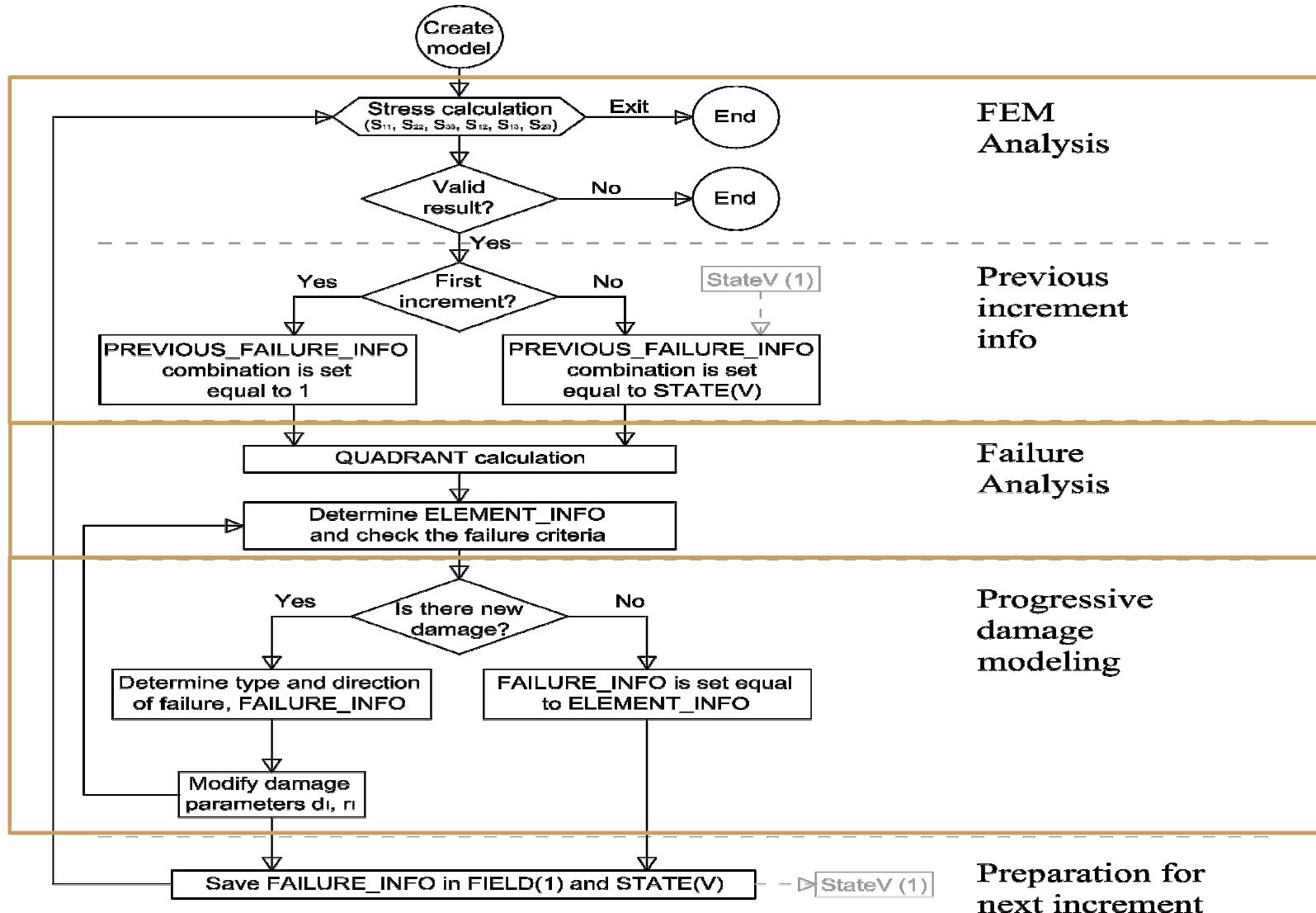
I Jornadas LIGNOMAD  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

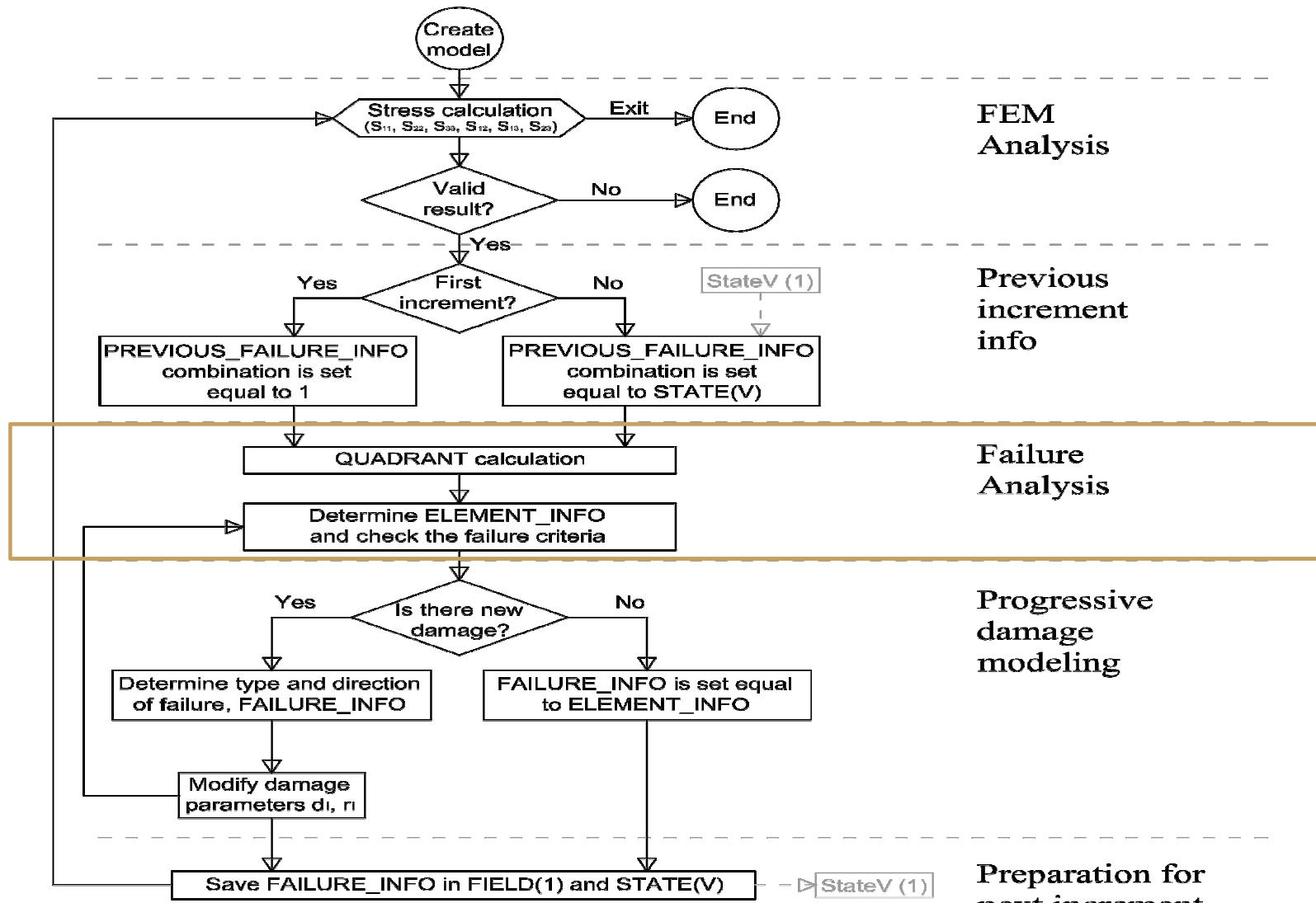
# Una solución posible

## Modelo del material “madera”









FEM  
Analysis

Previous  
increment  
info

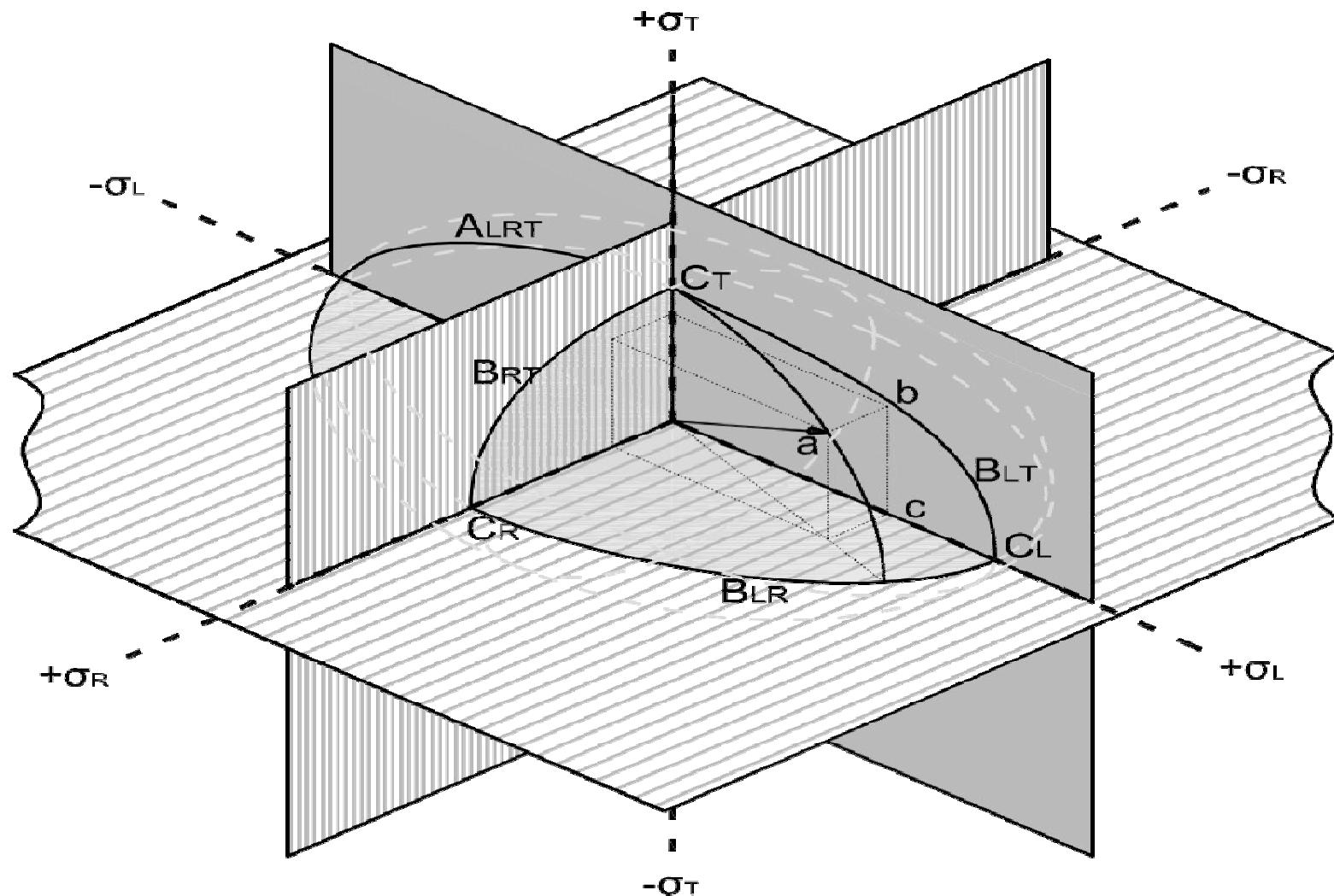
Failure  
Analysis

Progressive  
damage  
modeling

Preparation for  
next increment

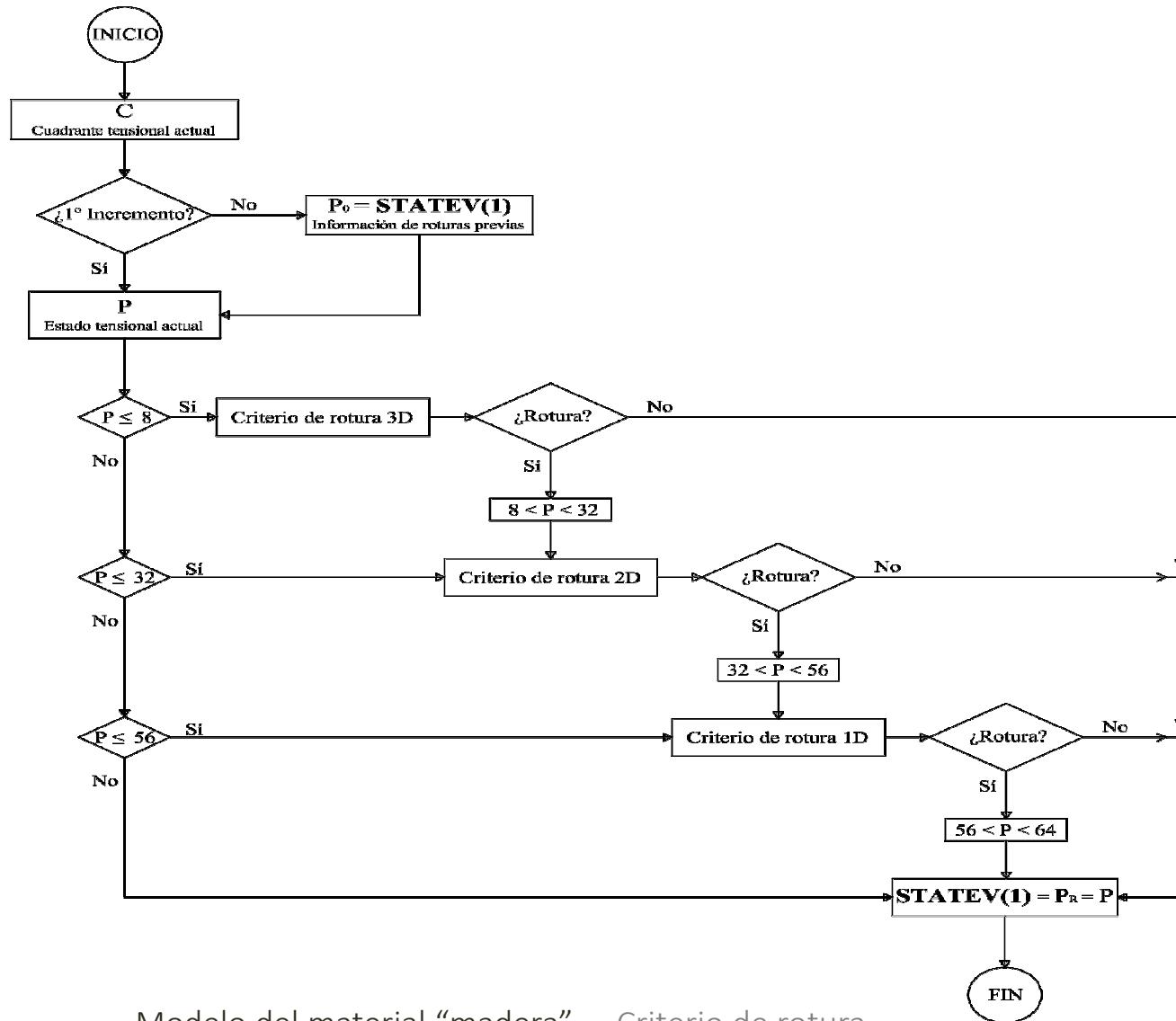
Modelo del material "madera" Visión general

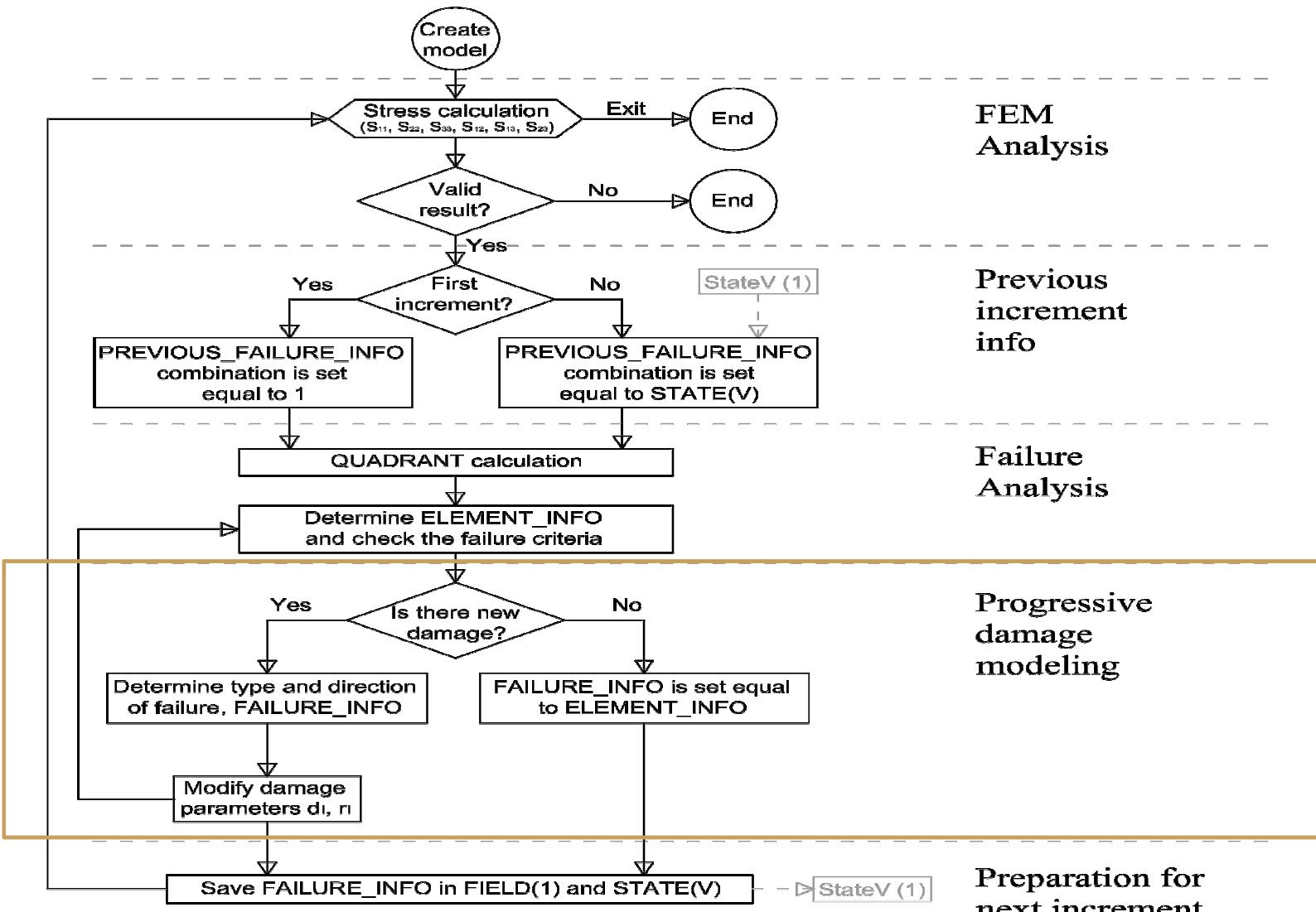


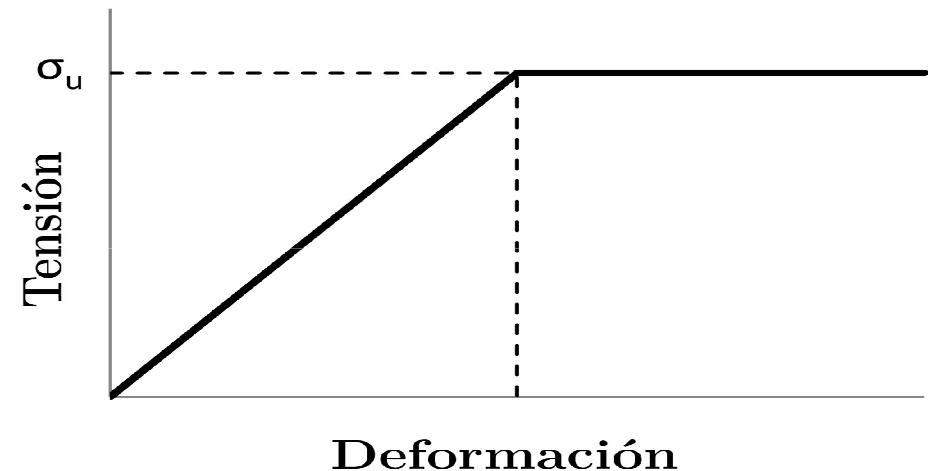


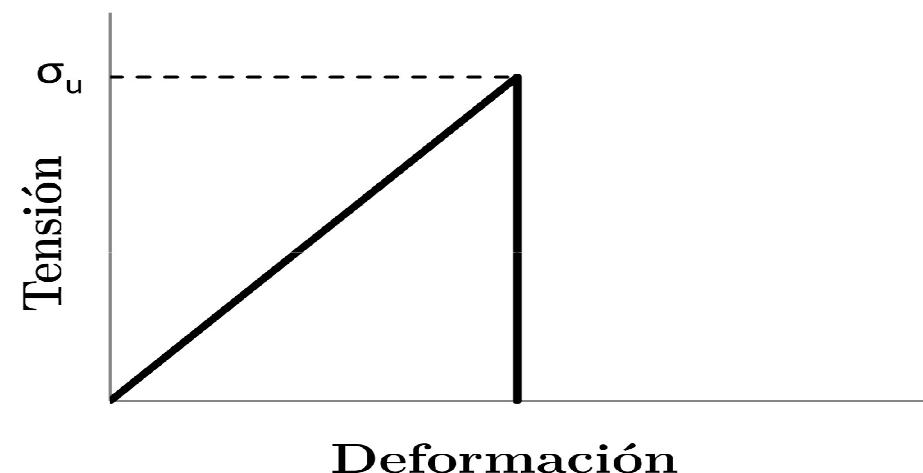
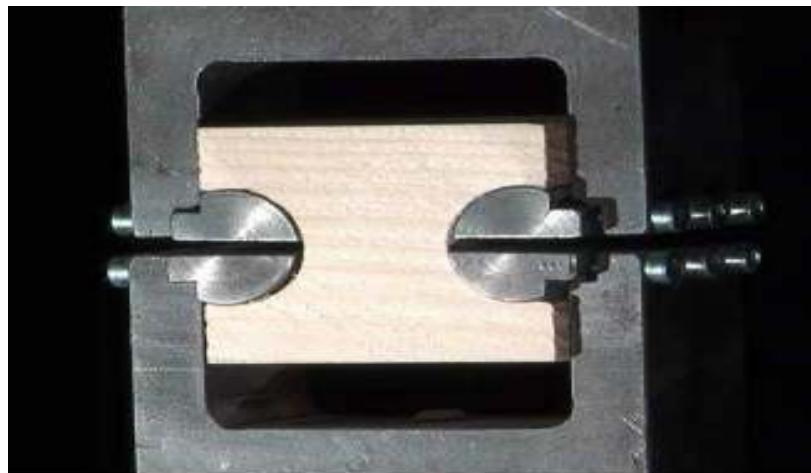
Modelo del material "madera" Criterio de rotura

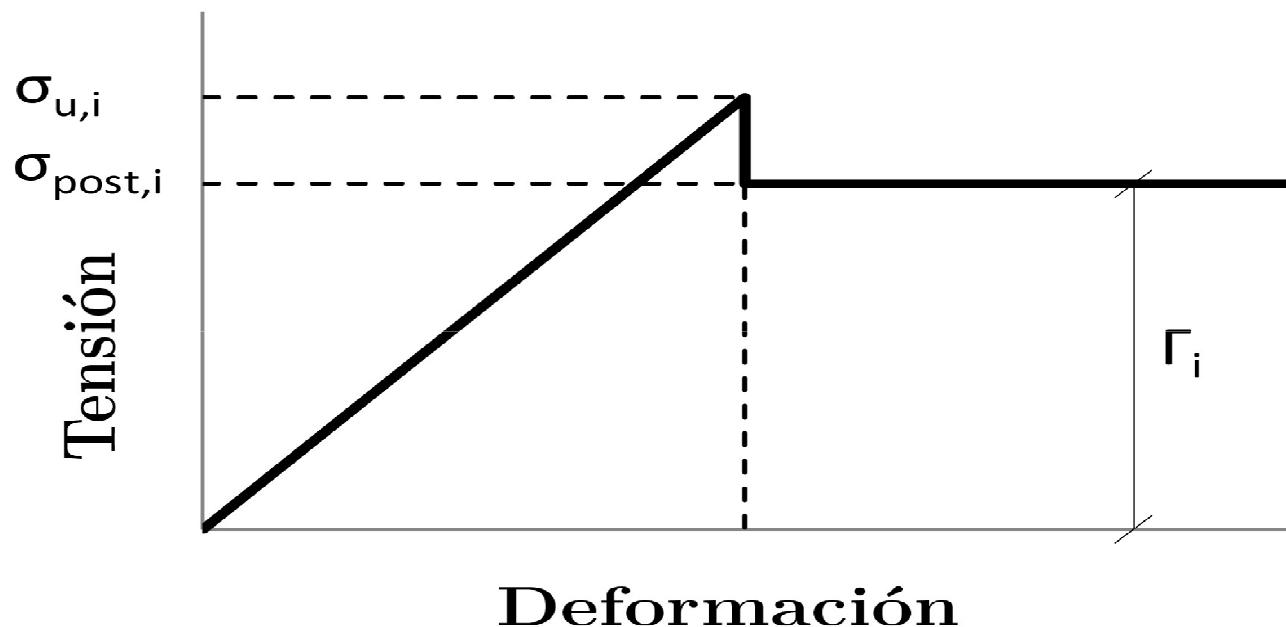


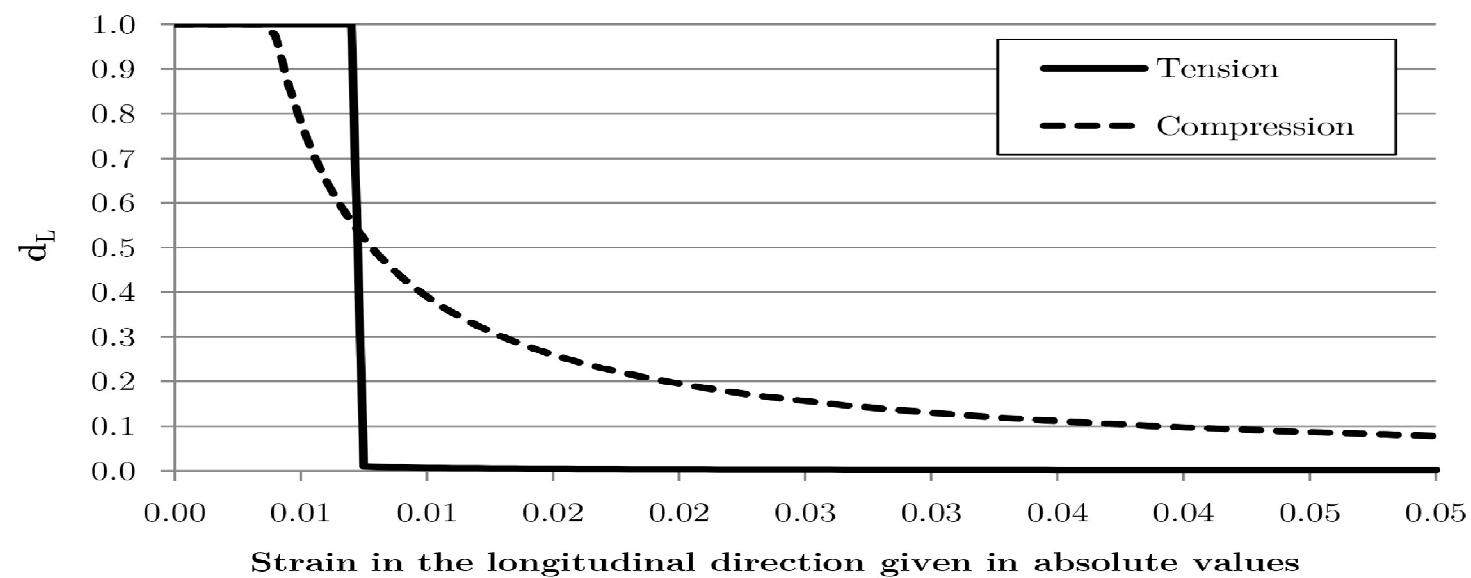














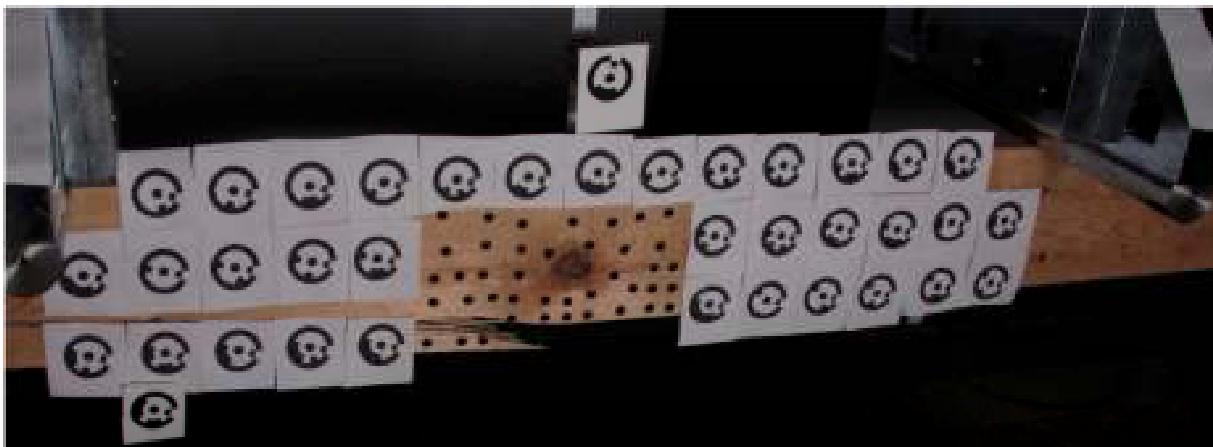
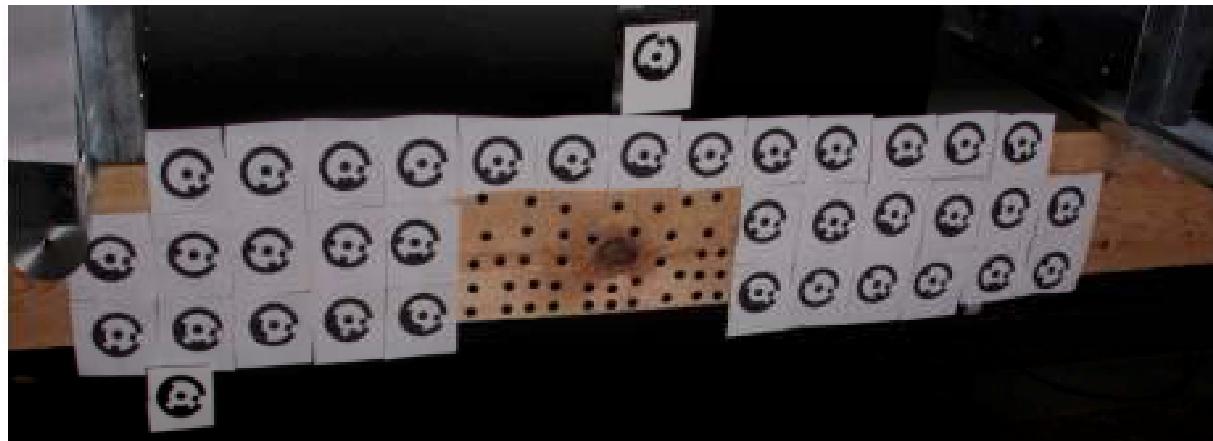
Universidad  
de Navarra

CÁTEDRA  
MADERA

I Jornadas LIGNOMAD  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

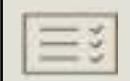
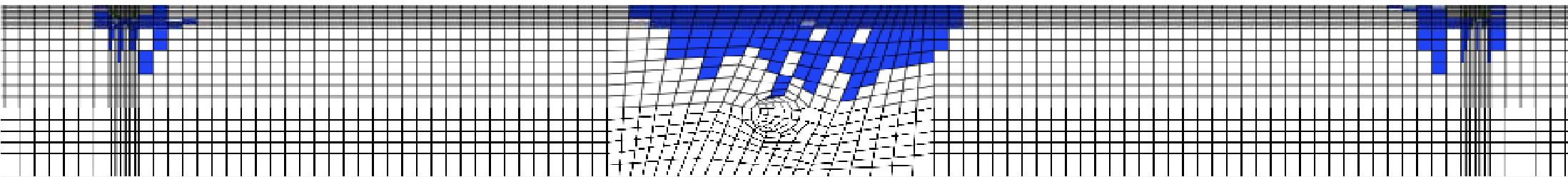
Verificación del algoritmo





Verificación Viga estructural (Guindos, 2011)

CÁTEDRA  
MADERA



Modo de rotura

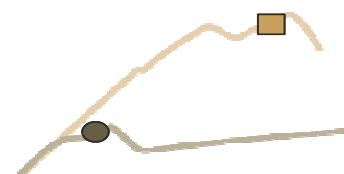
■ Tracción longitudinal

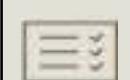
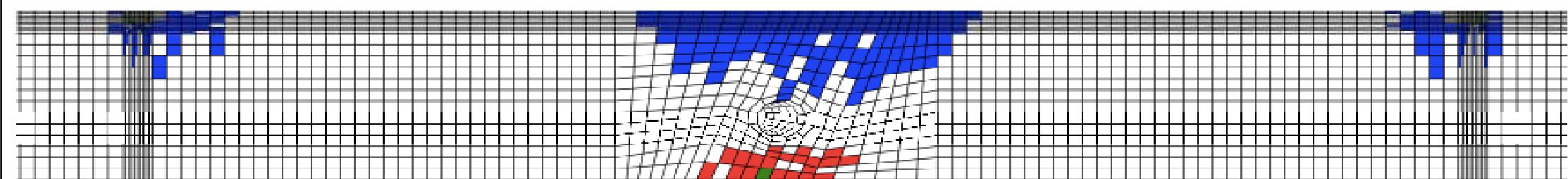
■ Tracción transversal

■ Compresión longitudinal

■ Compresión transversal

■ Varios





Modo de rotura

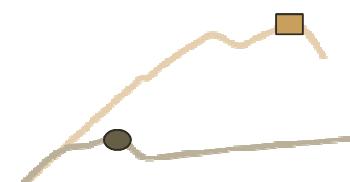
Tracción longitudinal

Tracción transversal

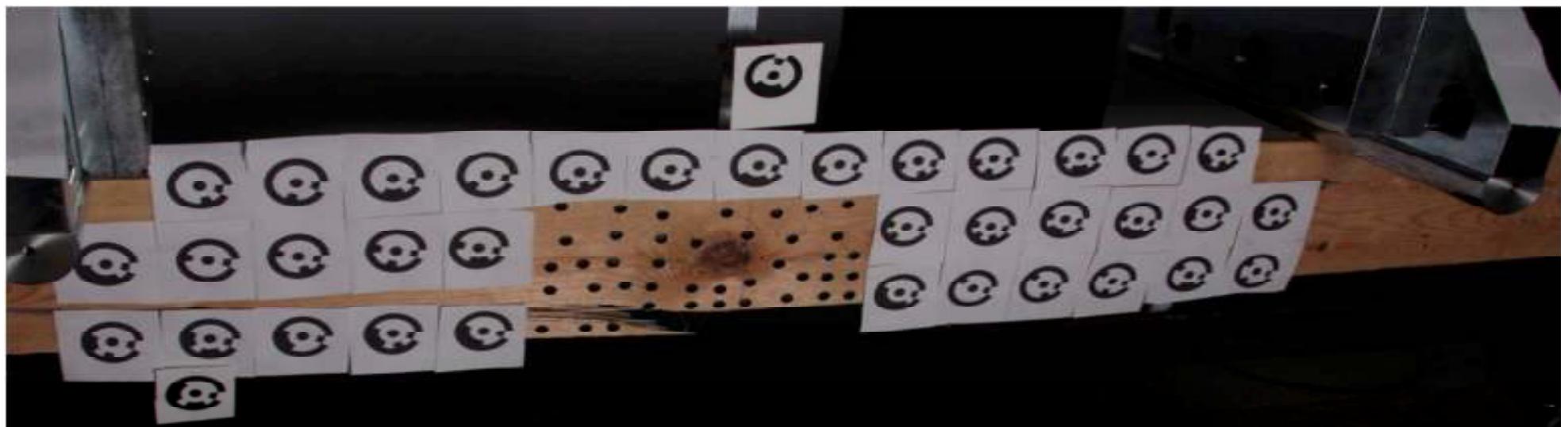
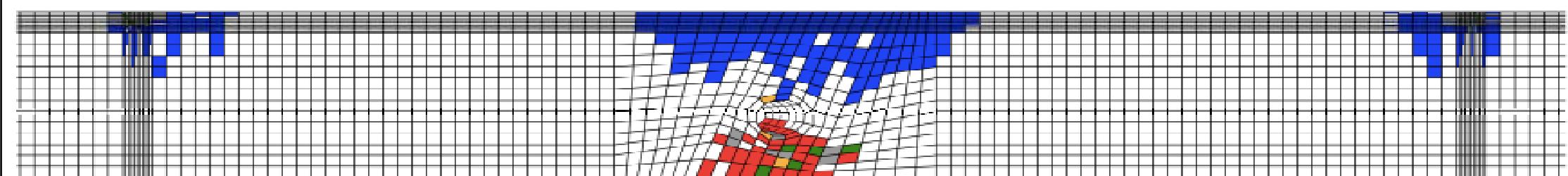
Compresión longitudinal

Compresión transversal

Varios



Verificación Evolución del daño



Modo de rotura

■ Tracción longitudinal

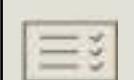
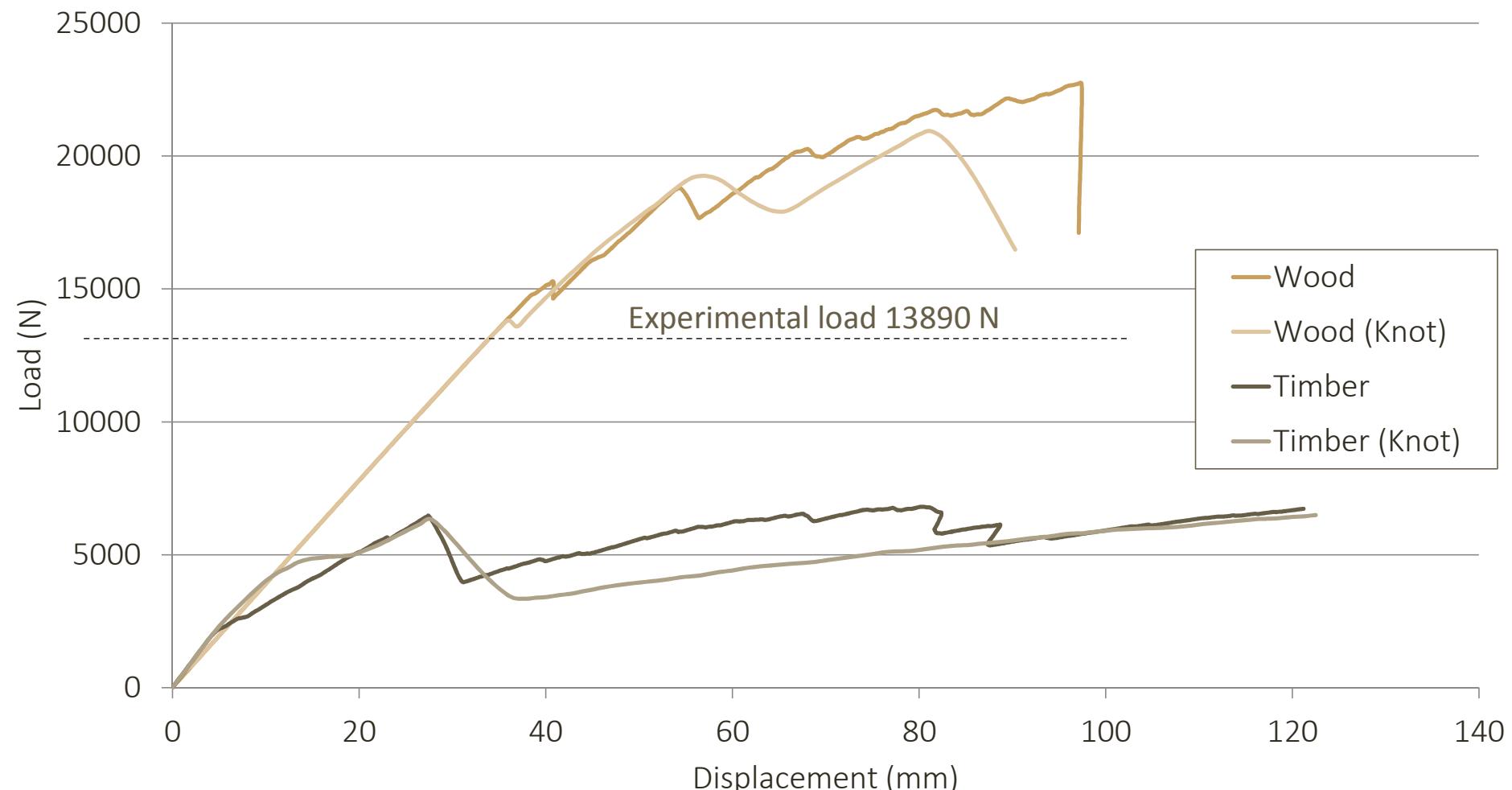
■ Tracción transversal

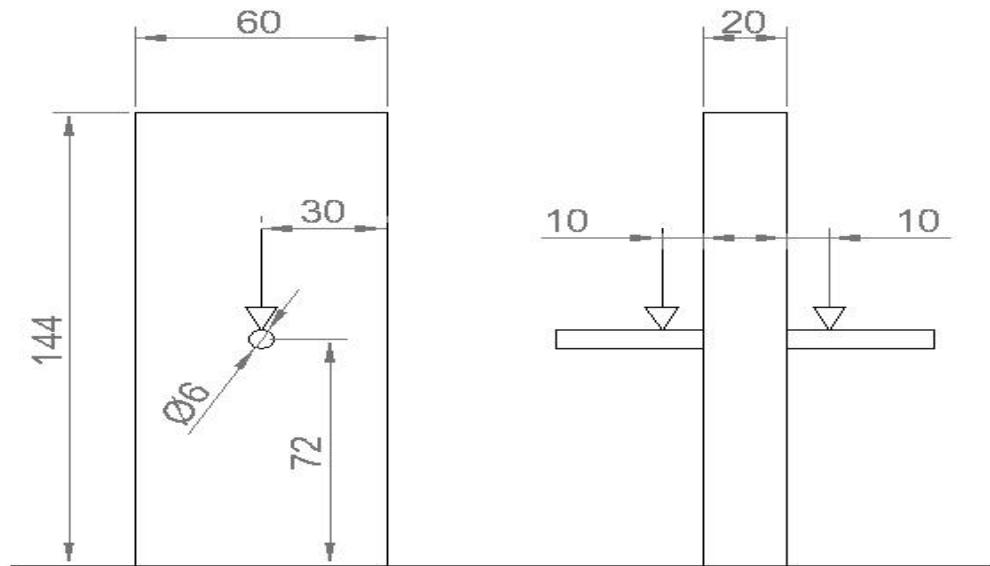
■ Compresión longitudinal

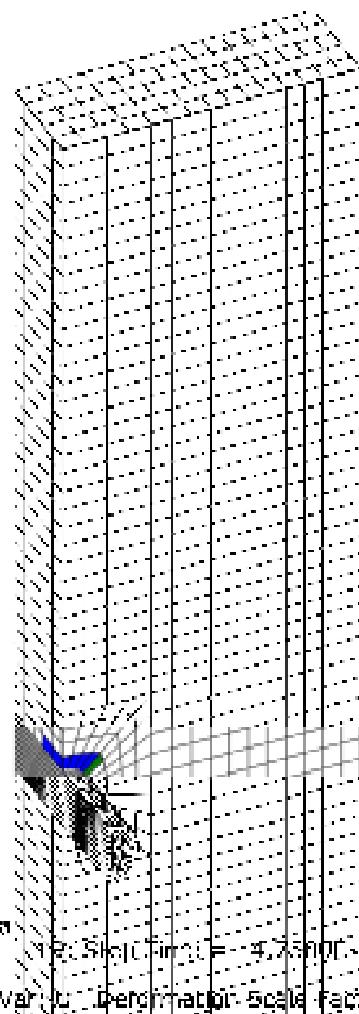
■ Compresión transversal

■ Varios

Verificación Evolución del daño







Modo de rotura

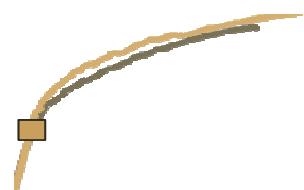
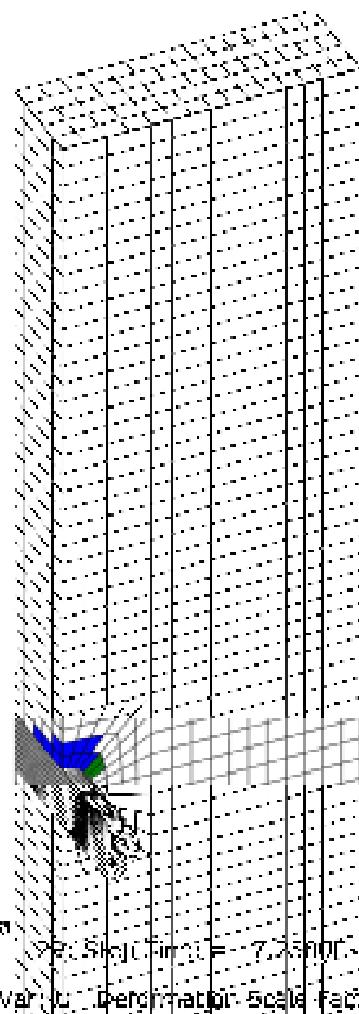
Tracción longitudinal

Tracción transversal

Compresión longitudinal

Compresión transversal

Varios



Modo de rotura

Tracción longitudinal

Tracción transversal

Compresión longitudinal

Compresión transversal

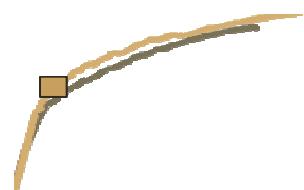
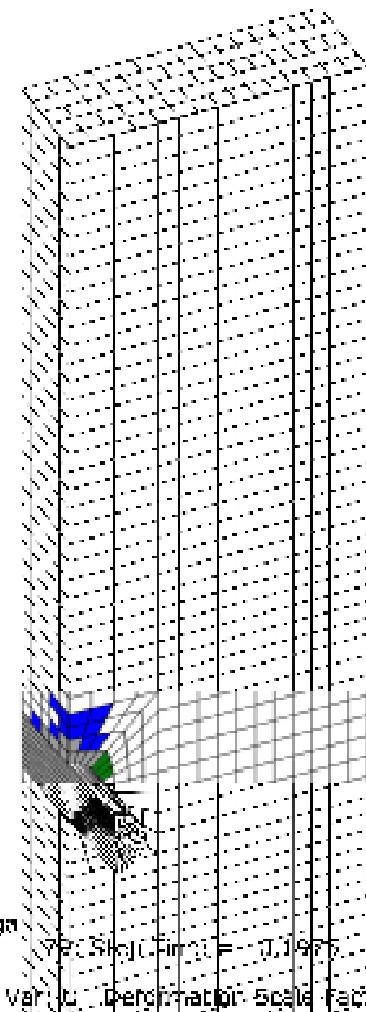
Varios

Verificación Evolución del daño



Universidad  
de Navarra

CÁTEDRA  
MADERA



## Modo de rotura

## Tracción longitudinal

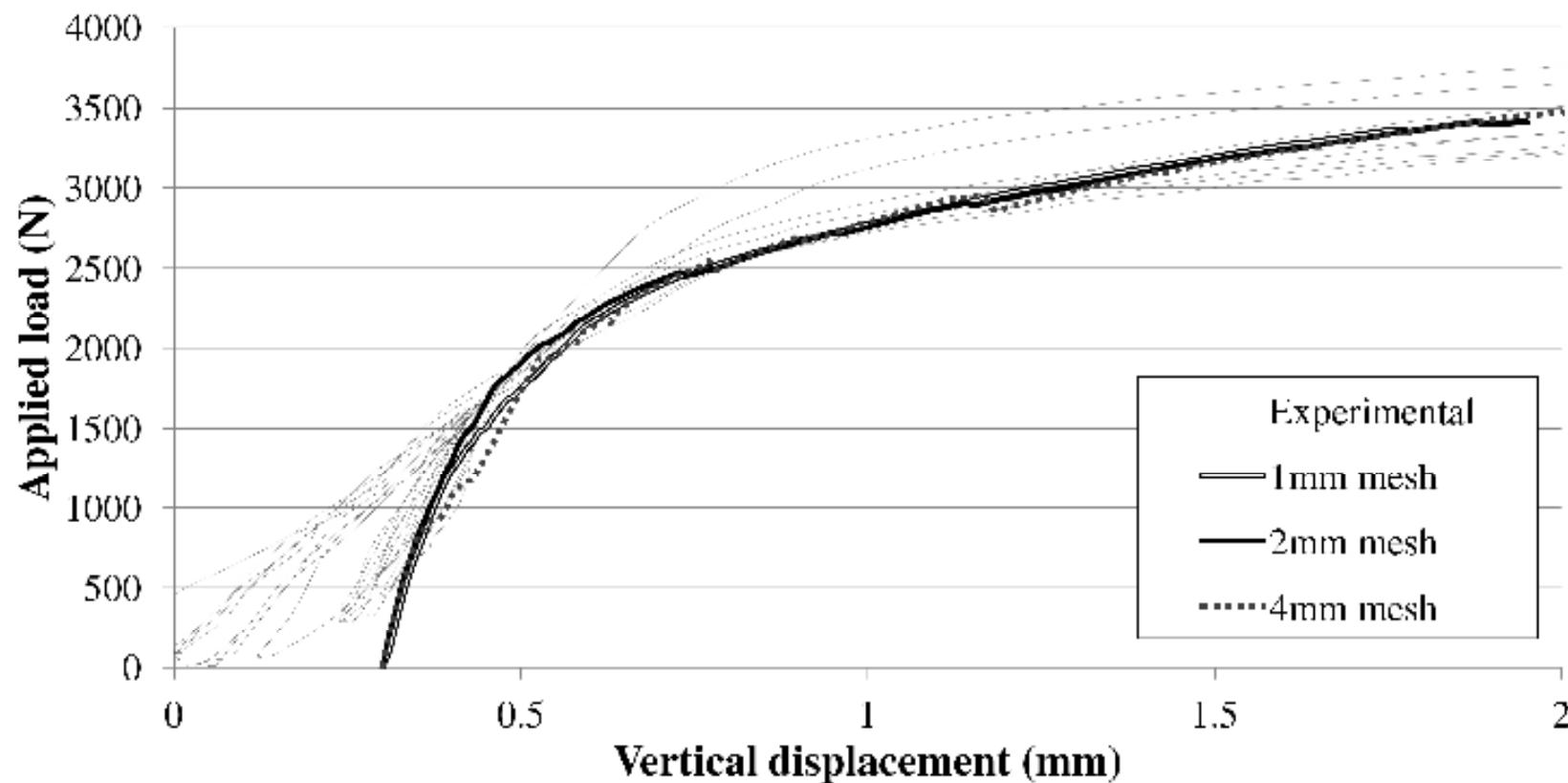
## Tracción transversal

## Compresión longitudinal

## Compresión transversal

Varios

## Verificación Evolución del daño





Universidad  
de Navarra

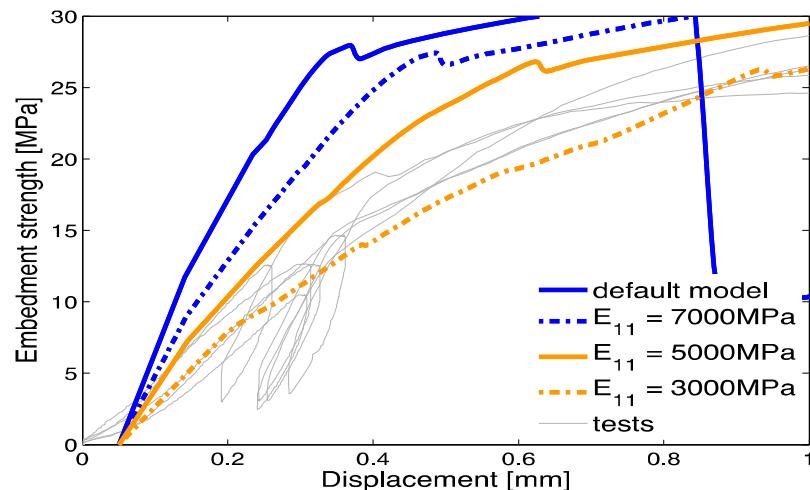
CÁTEDRA  
MADERA

I Jornadas LIGNOMAD  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

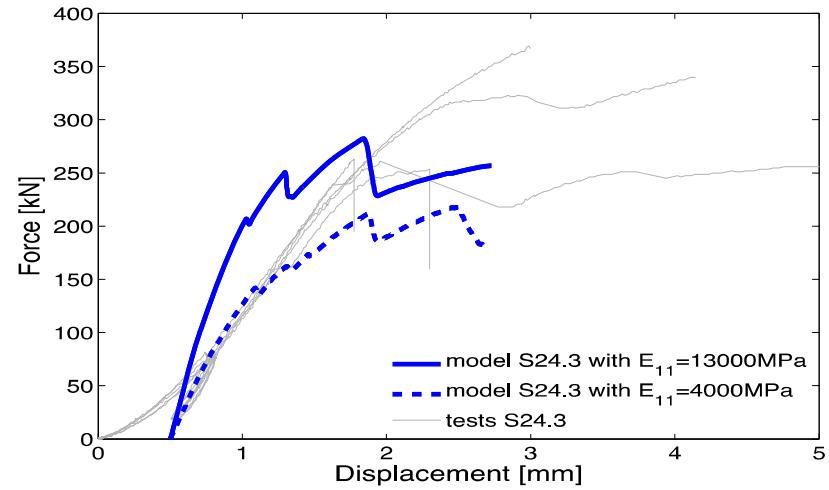
# Modelado del contacto

## Técnicas adicionales





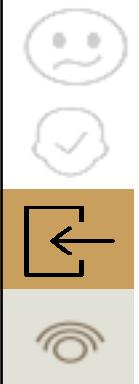
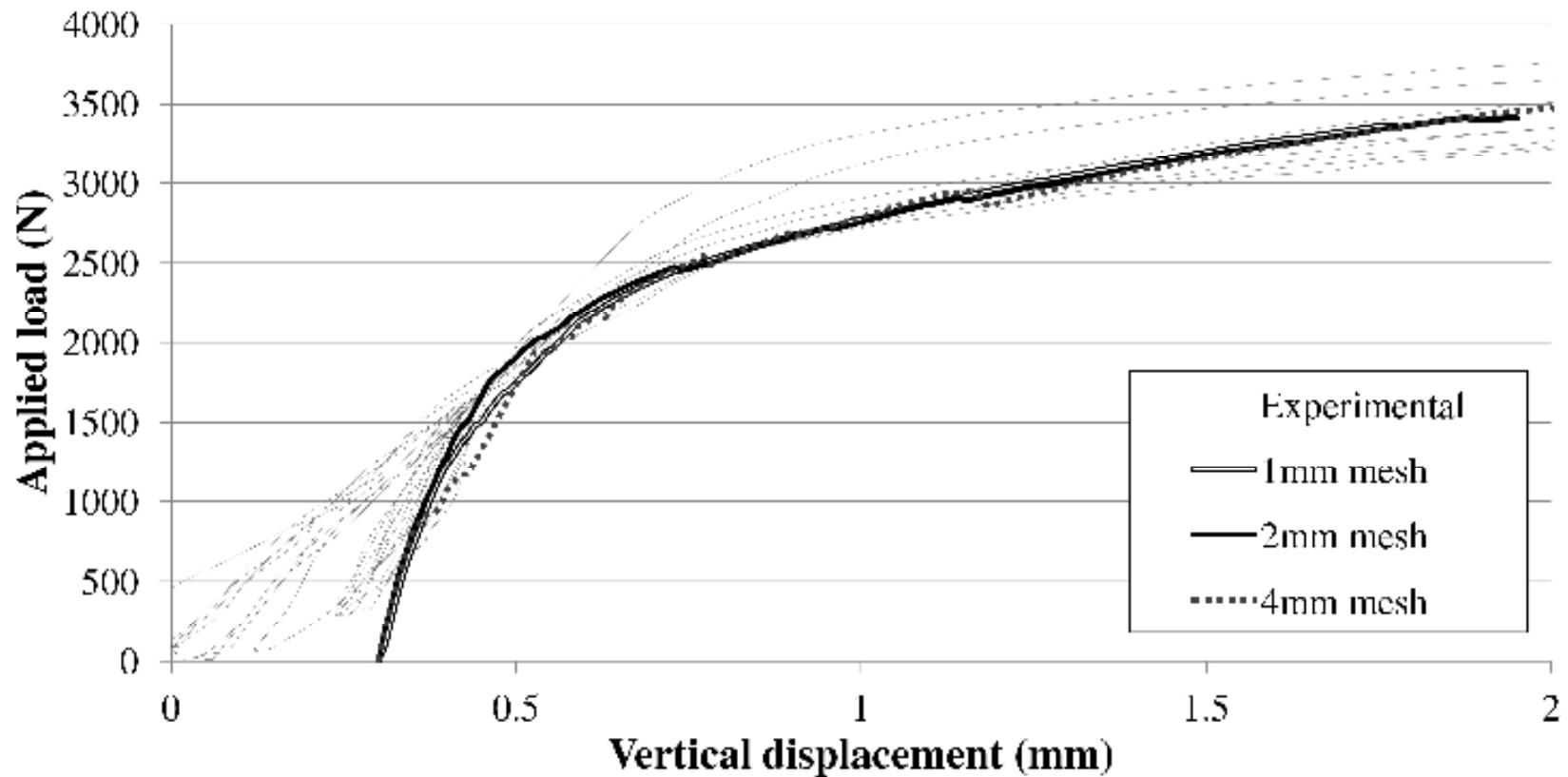
Ensayo de aplastamiento en Picea Abies,  
pasador de 24 mm.

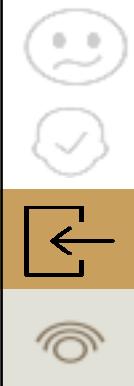
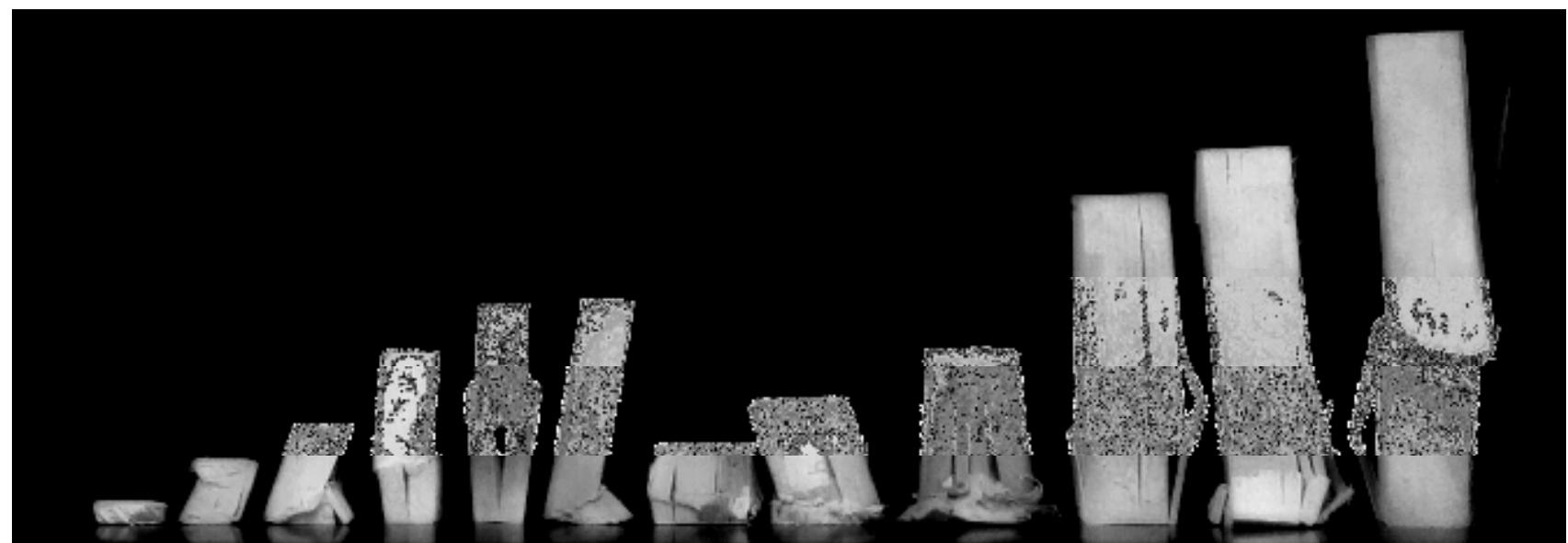


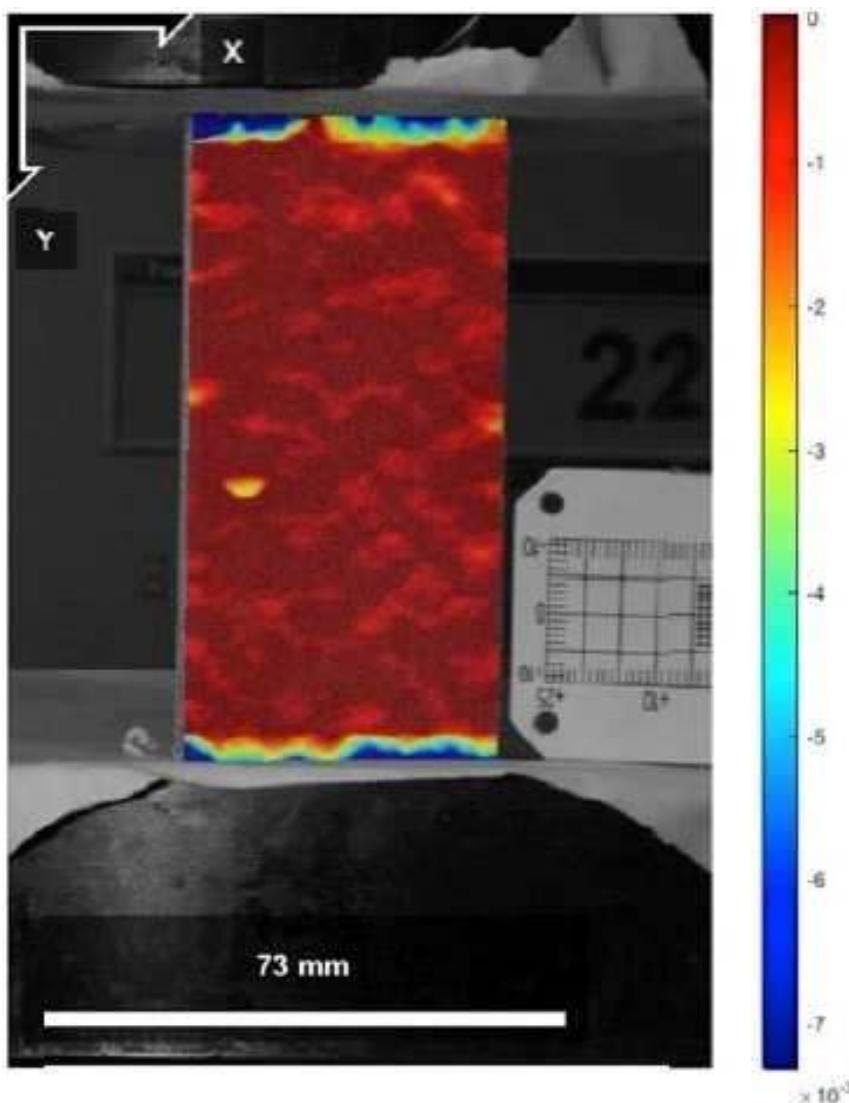
Unión de tres pasadores de diámetro 24  
mm en Picea Abies

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

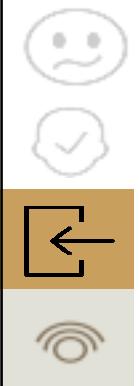


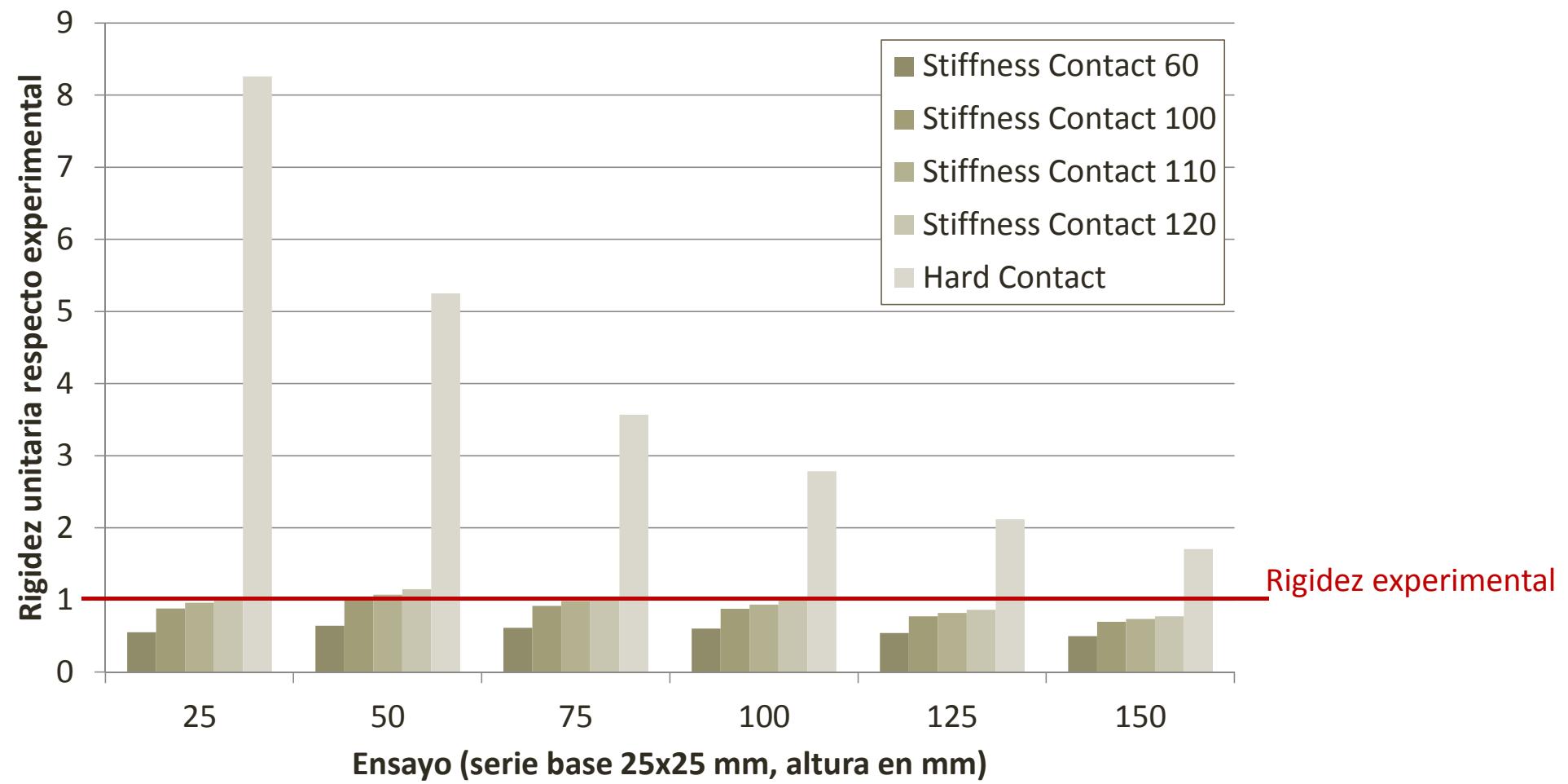






Modelado del contacto Deformación experimental







Universidad  
de Navarra

CÁTEDRA  
MADERA

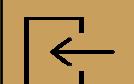
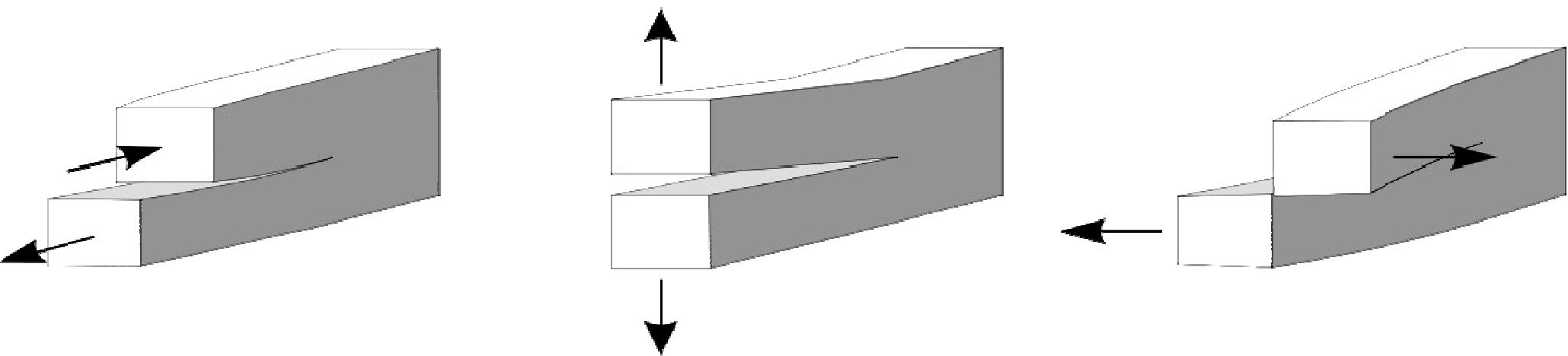
I Jornadas

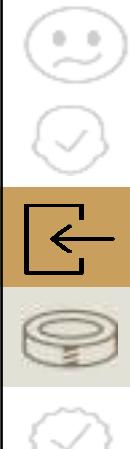
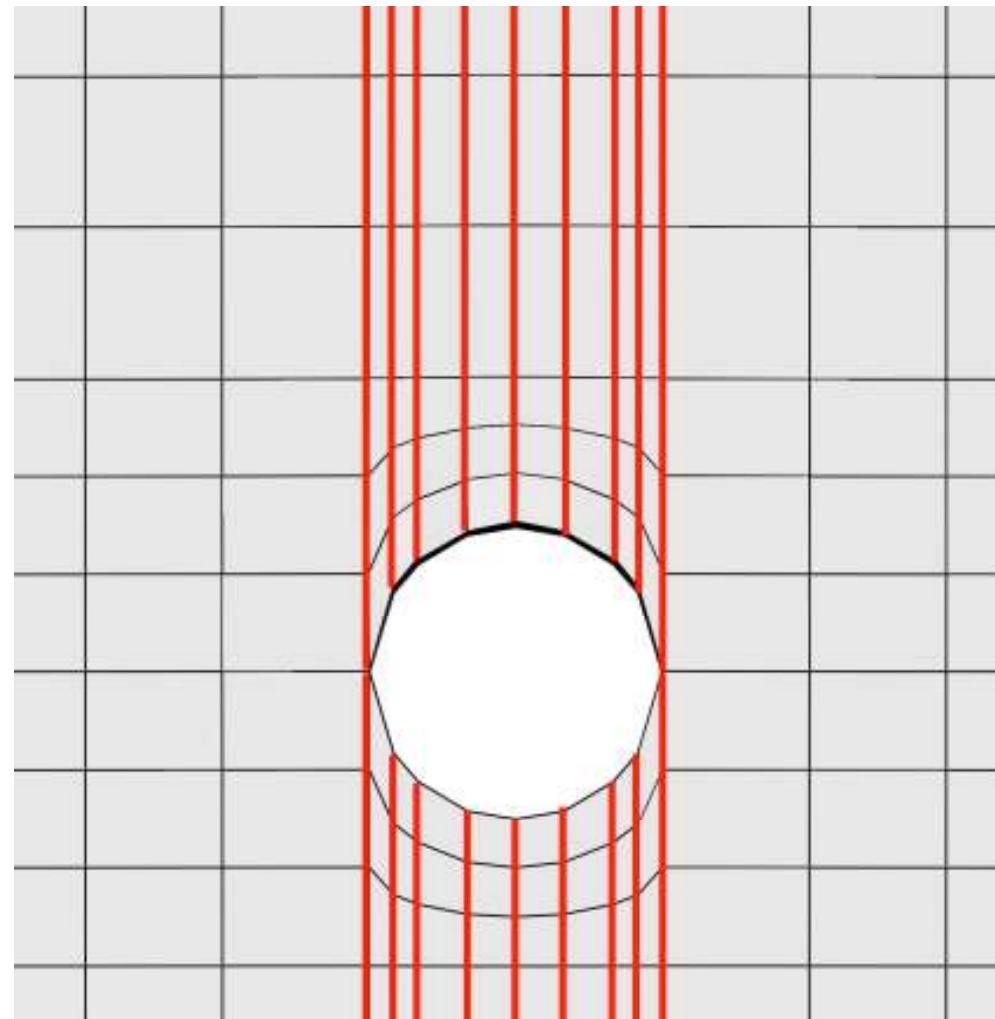
LIGNOMAD

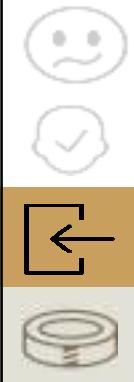
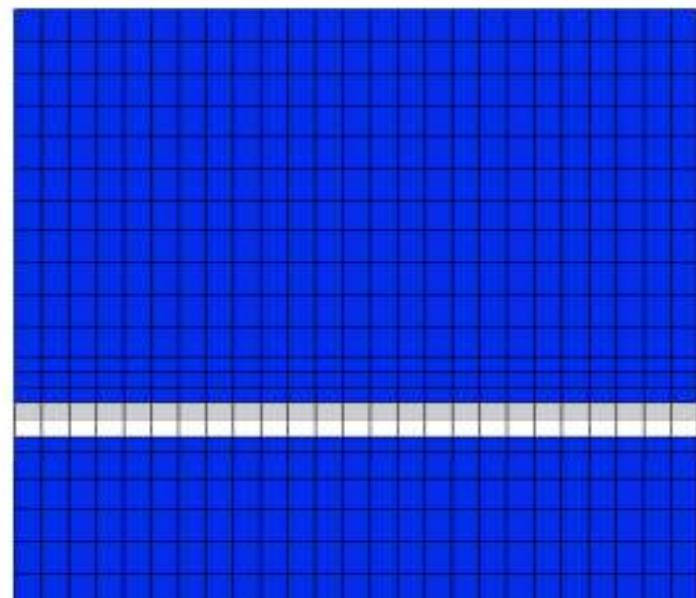
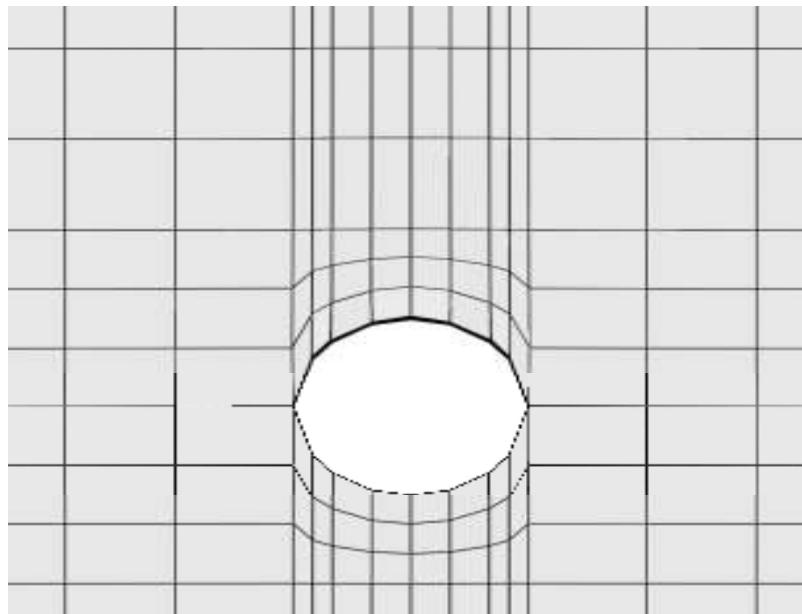
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

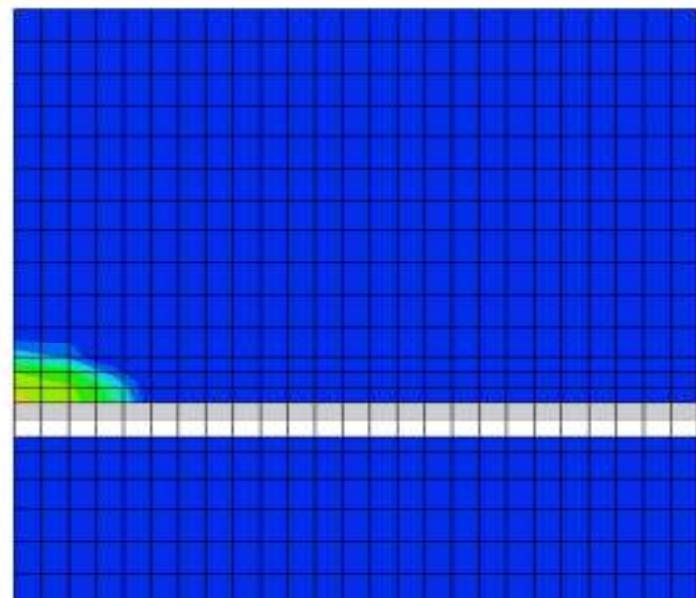
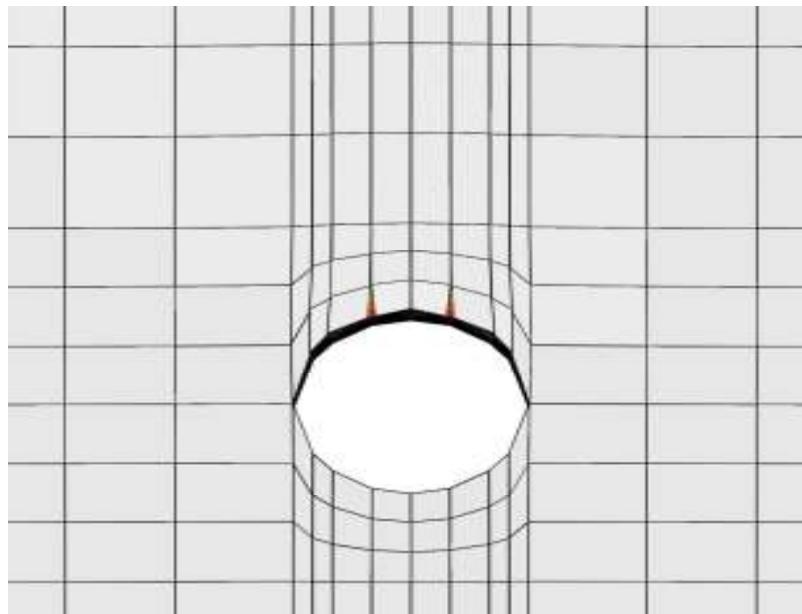
# Elementos cohesivos

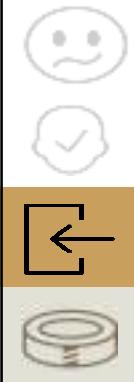
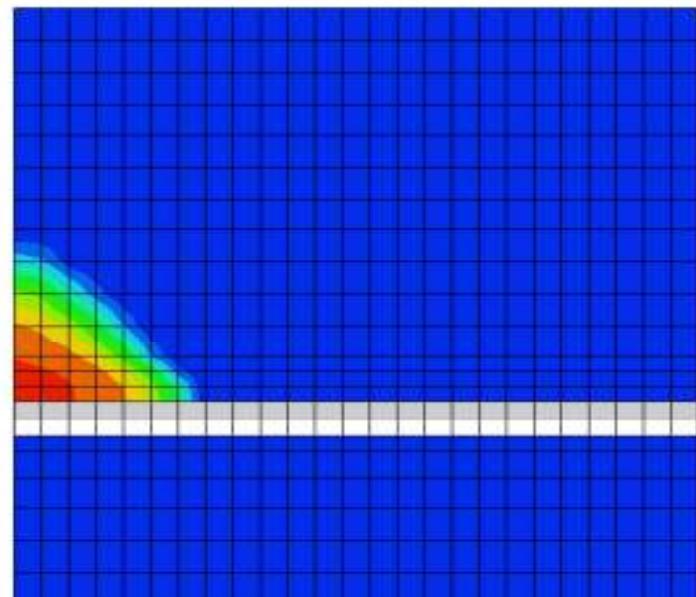
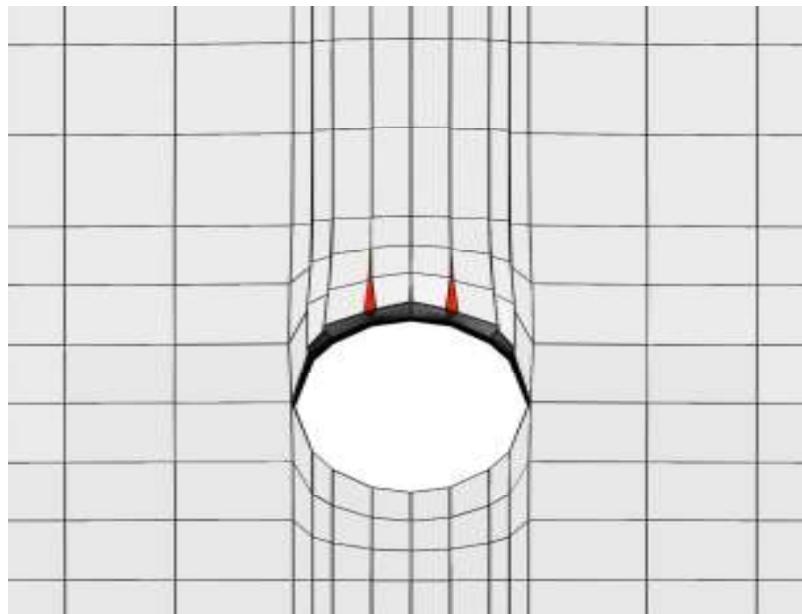
## Técnicas adicionales

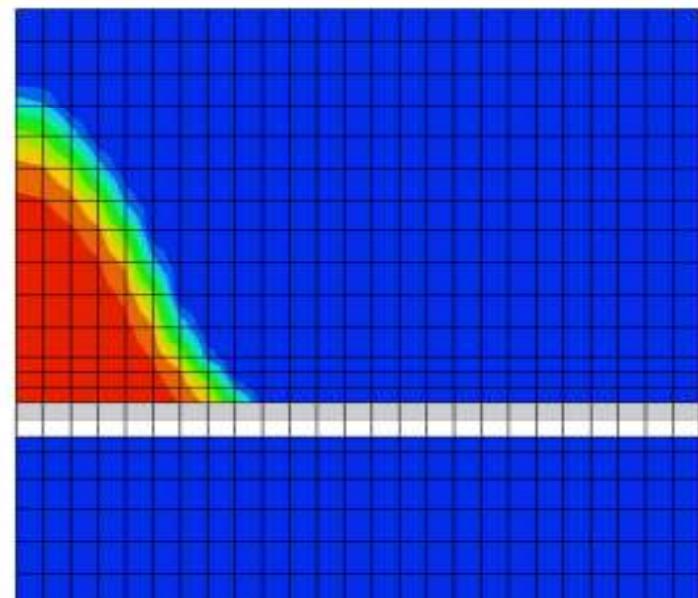
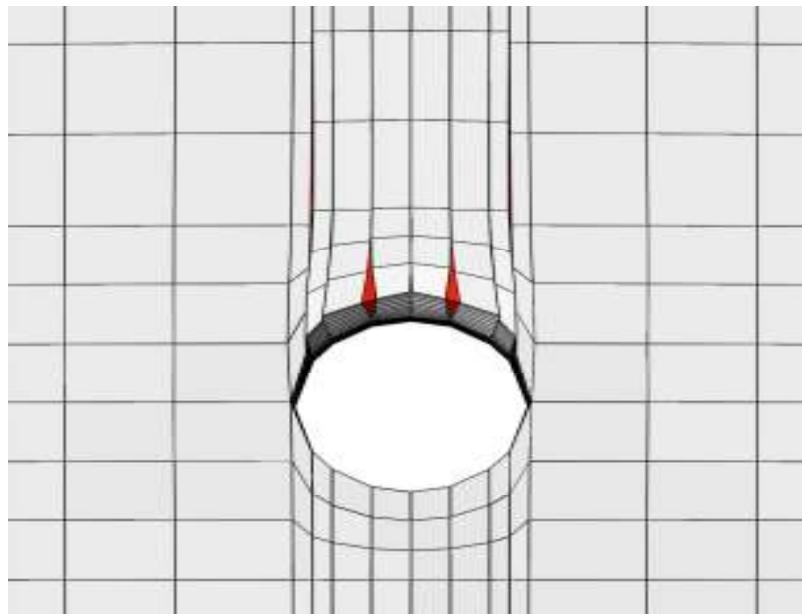


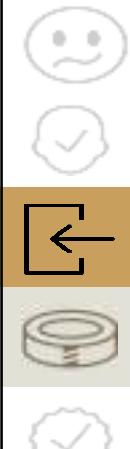
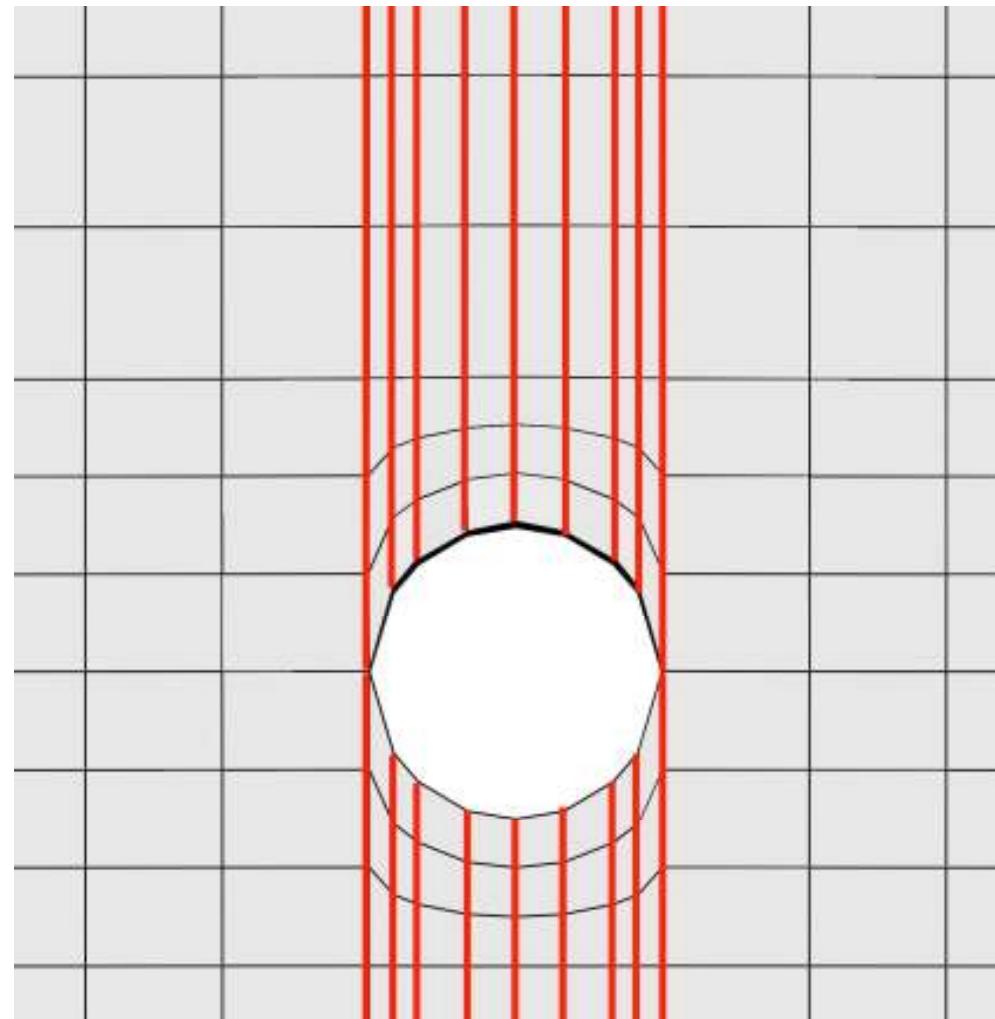


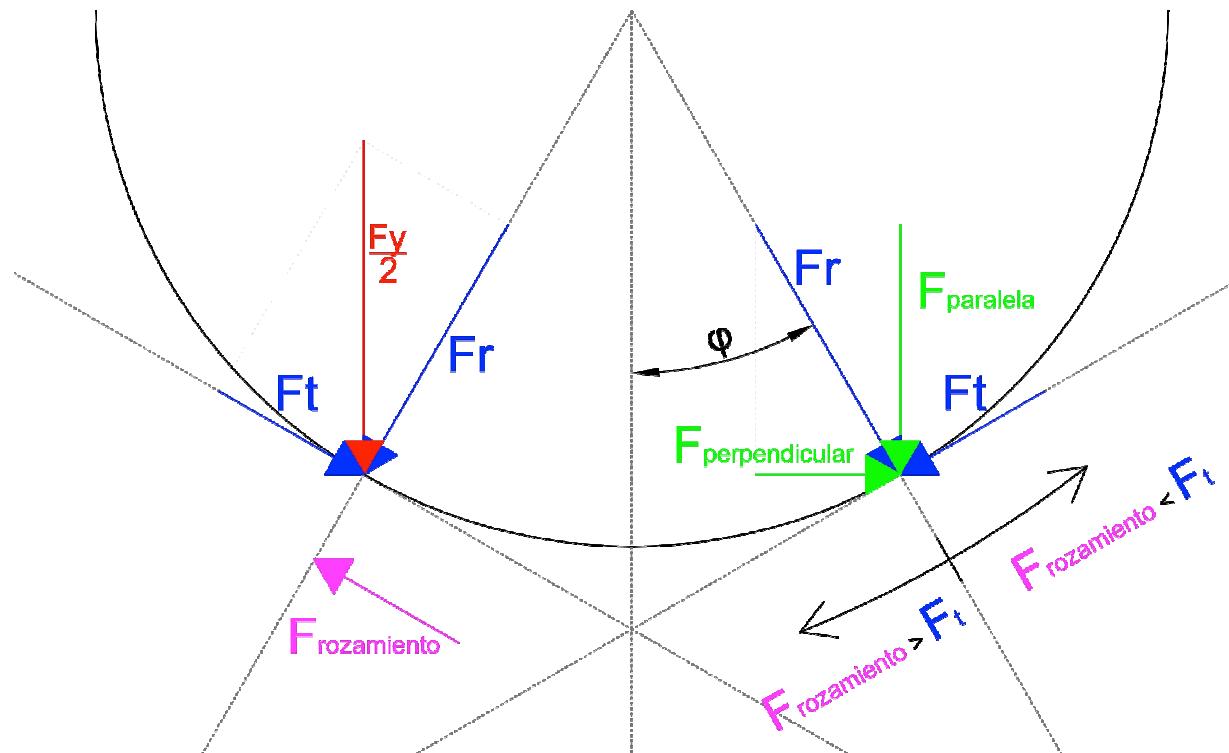


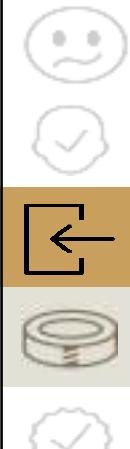
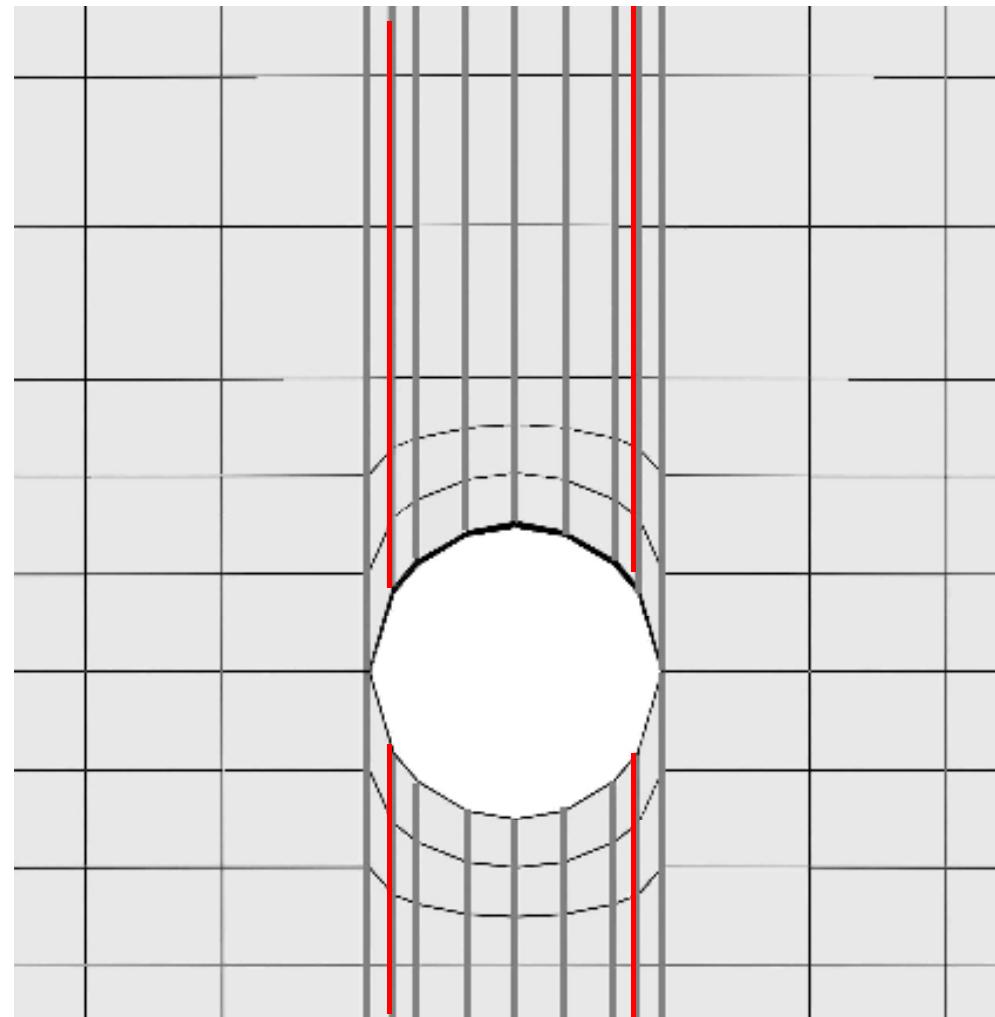














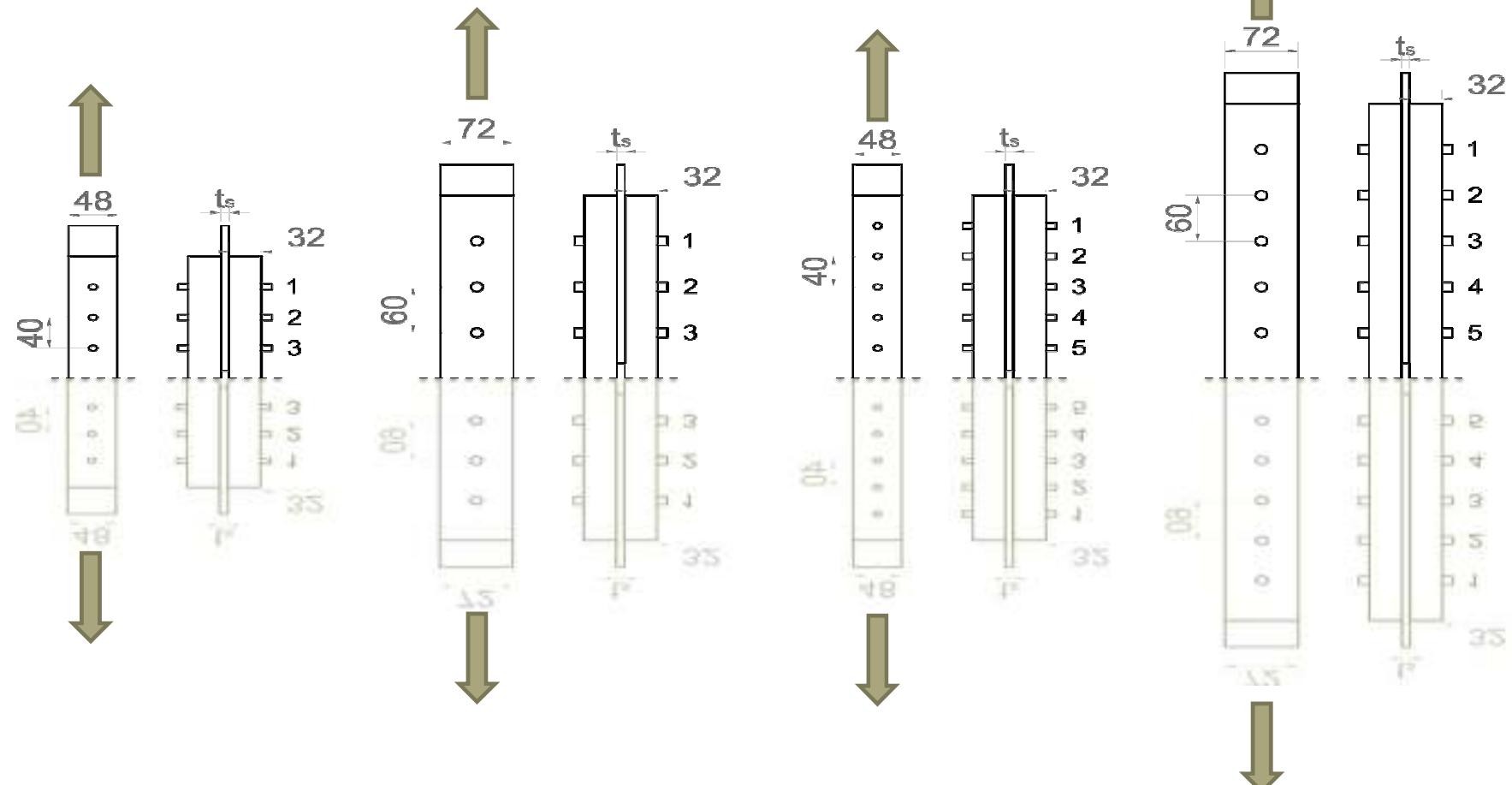
Universidad  
de Navarra

CÁTEDRA  
MADERA

I Jornadas LIGNOMAD  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

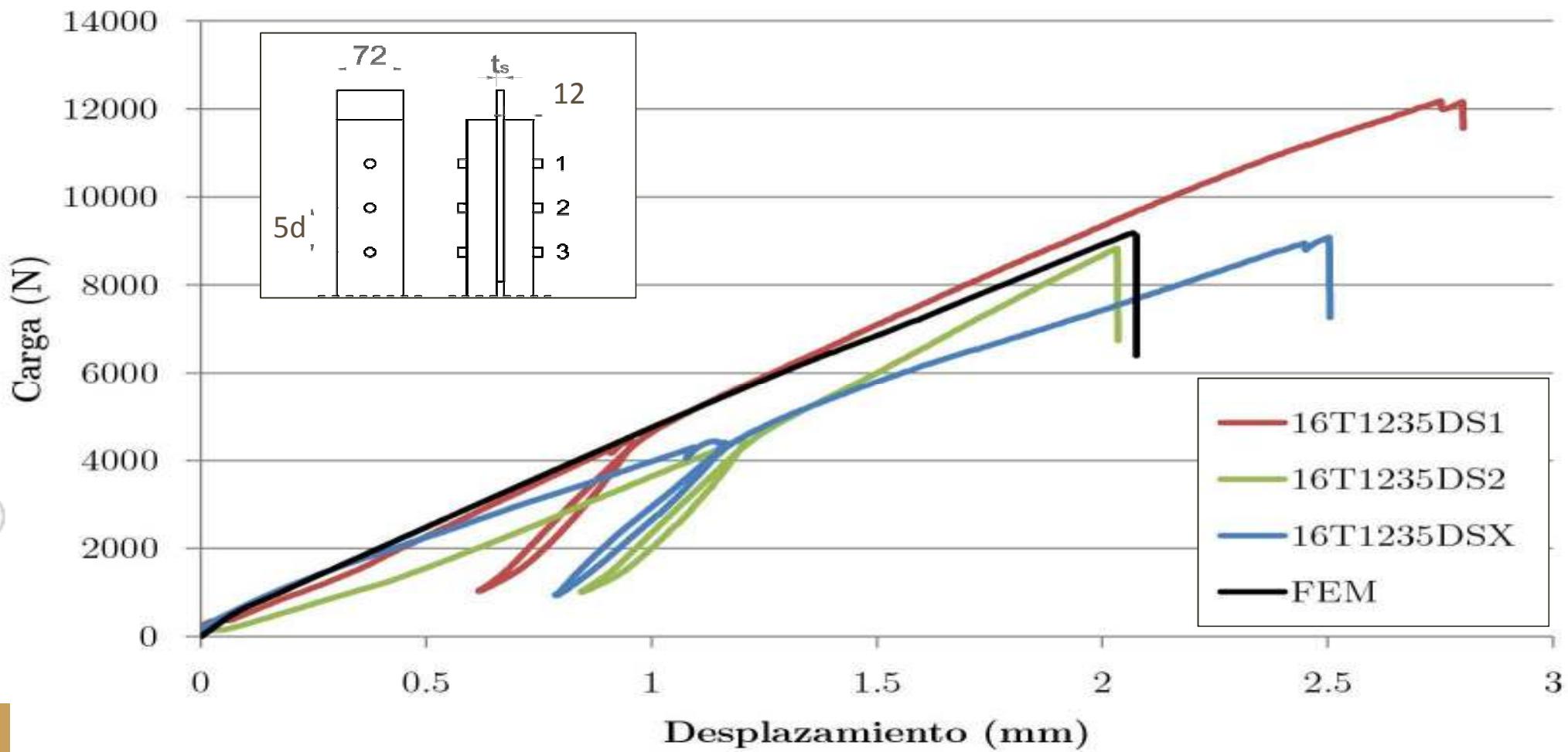
# Resultados Conclusiones

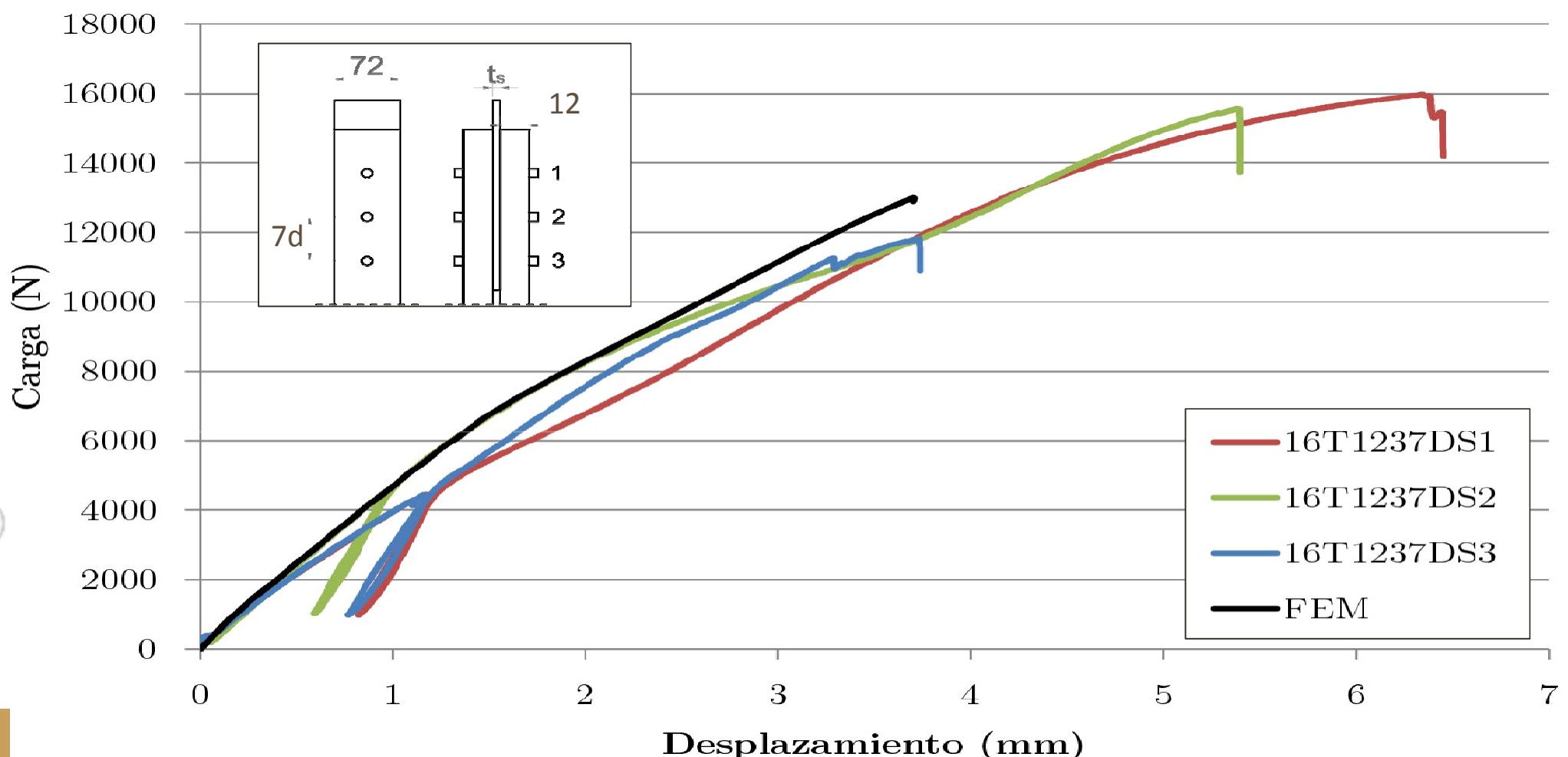


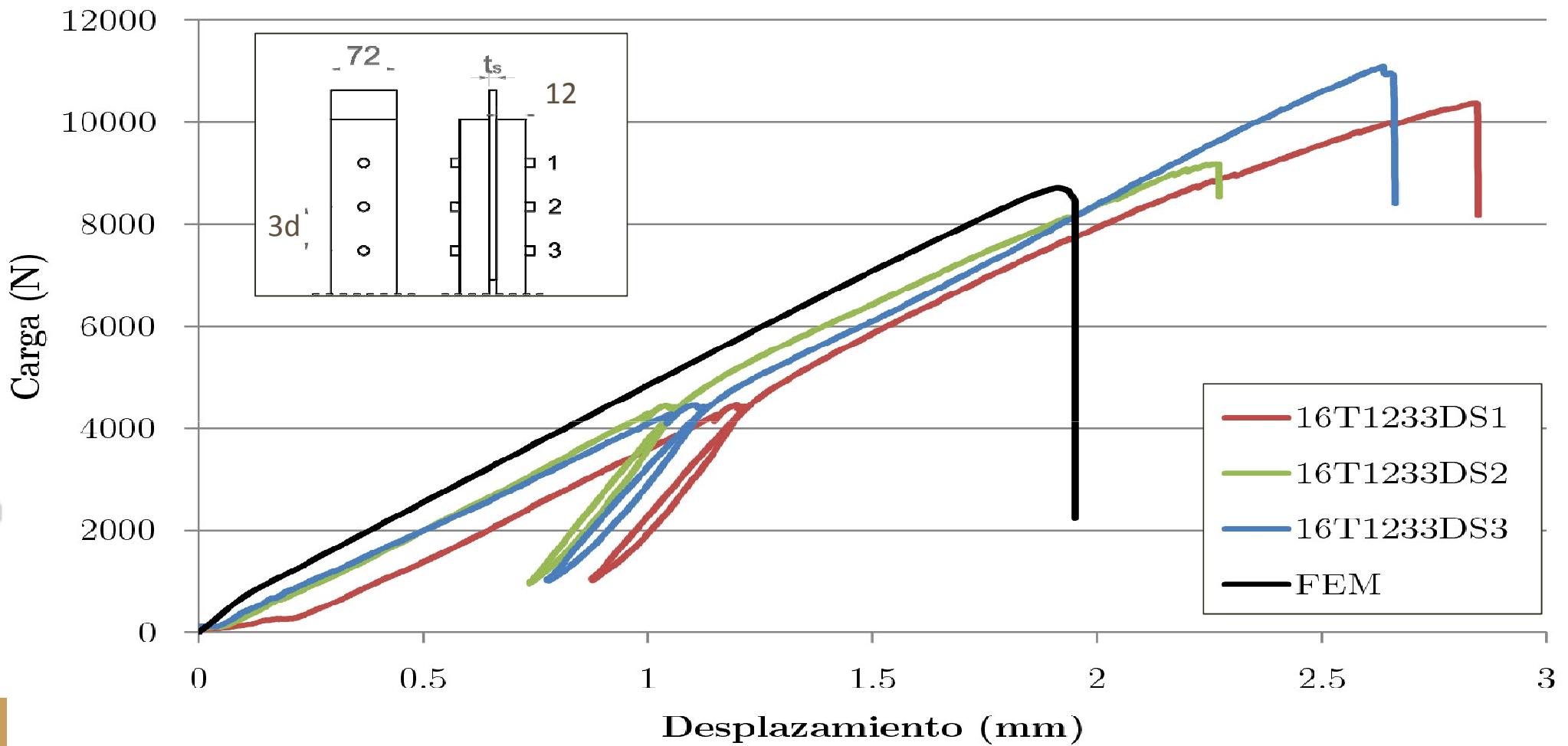


Resultados Uniones modeladas











Gracias

madera@unav.es

LIGNOMAD



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN  
ESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍA  
DE LA MADERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



UNIDAD DE INVESTIGACIÓN SOSTENIBLE



PLATAFORMA DE ENXEÑERIA  
DA MADEIRA ESTRUTURAL



CONSTRUCCIÓN CON MADERA  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Grup Interdisciplinari de Ciència i  
Tecnologia a l'Edificació



Universidad  
de Navarra



INSTITUTO  
EDUARDO TORROJA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



Instituto Nacional de Investigación  
y Tecnología Agraria y Alimentaria





# 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



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona

Gicited  
Grup Interdisciplinari de Ciència i  
Tecnologia a l'Edificació

GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD

# 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 vítreo protectora
- Diluir los gases de combustión
- Reducir la temperatura de la fase condensada

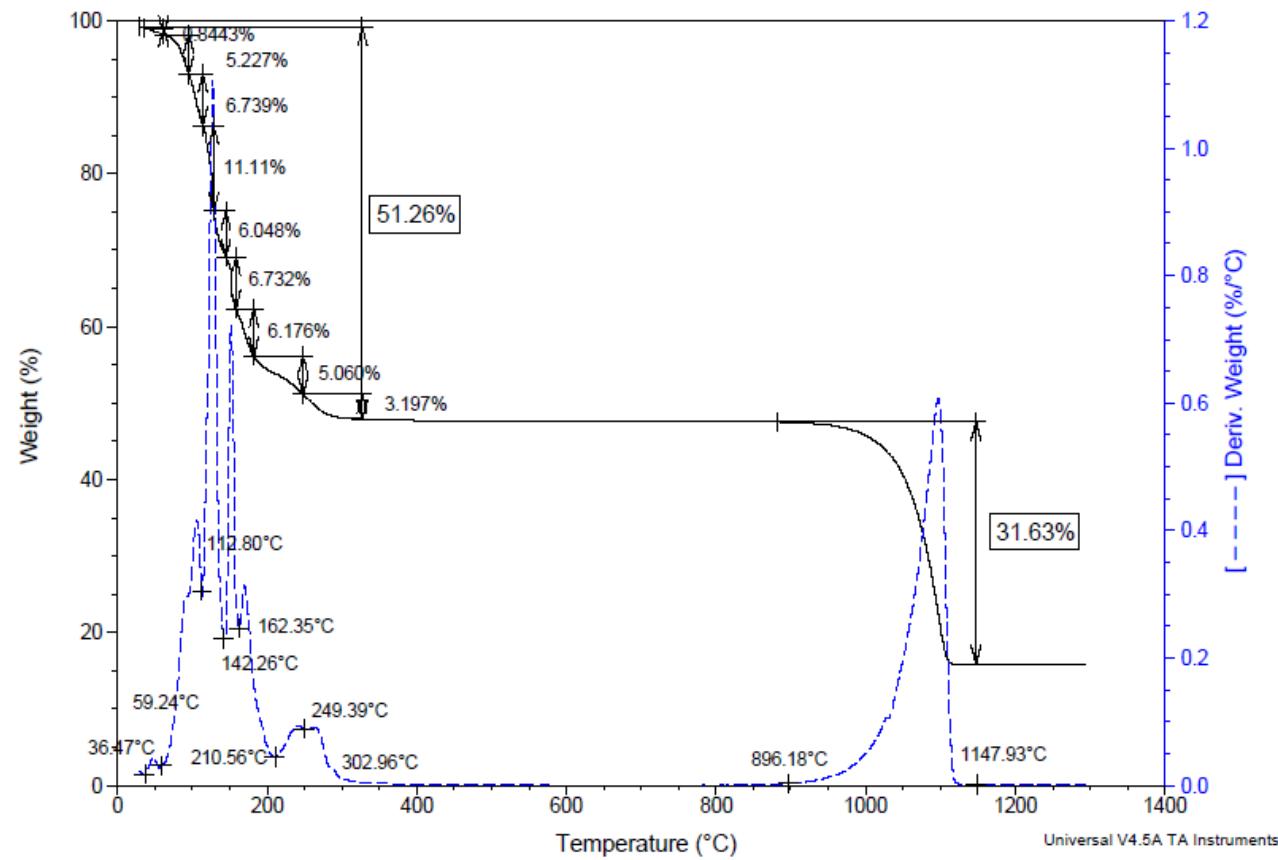
## Retardantes de llama

- 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:  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$

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



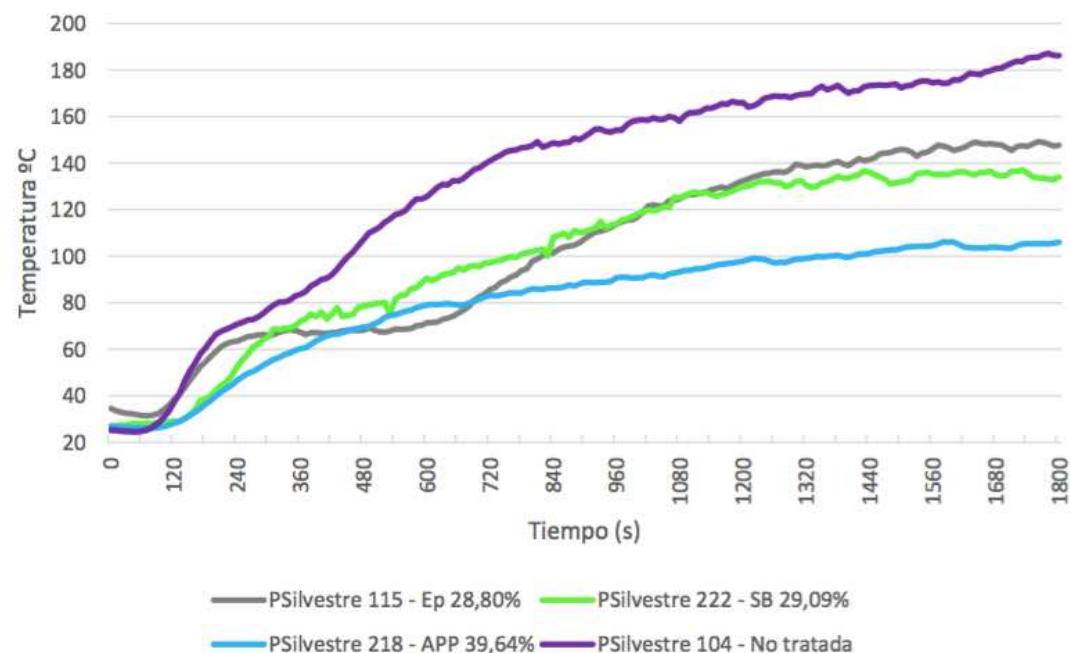
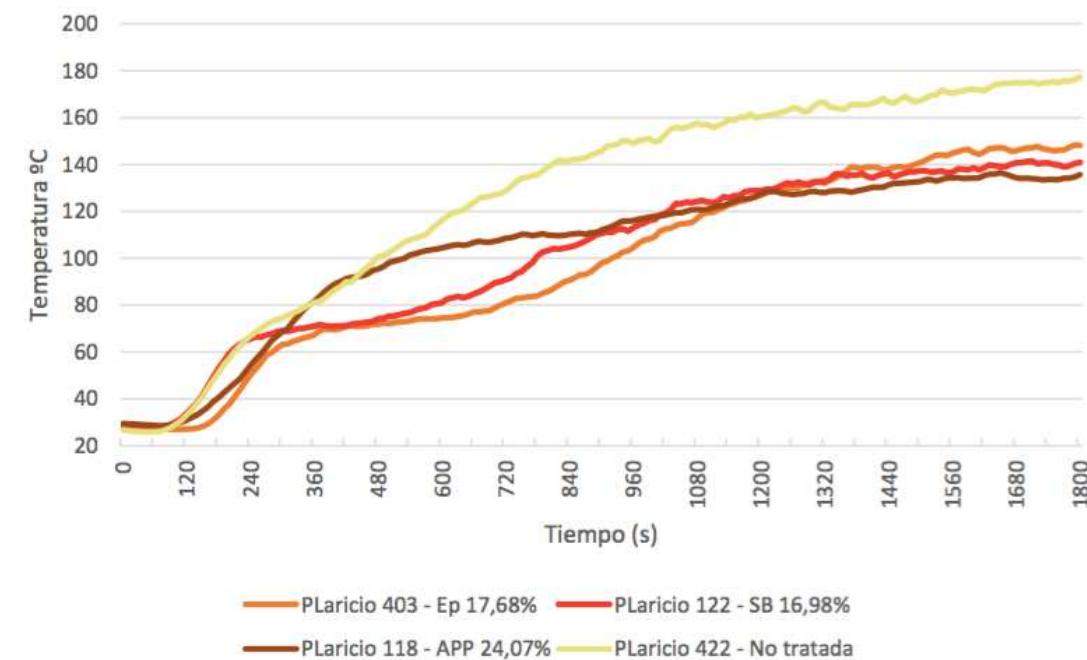
## Caracterización

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



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN  
ESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍA  
DE LA MADERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



UNIDADE XESTIÓN FORESTAL SOSTIBLE



PLATAFORMA DE ENXEÑERIA  
DA MADEIRA ESTRUTURAL



CONSTRUCCION CON MADERA  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Universidad  
de Navarra



INSTITUTO  
EDUARDO TORROJA



MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



Instituto Nacional de Investigación  
y Tecnología Agraria y Alimentaria

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

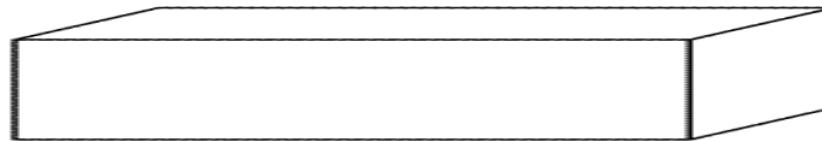
# Índex

- 
- 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

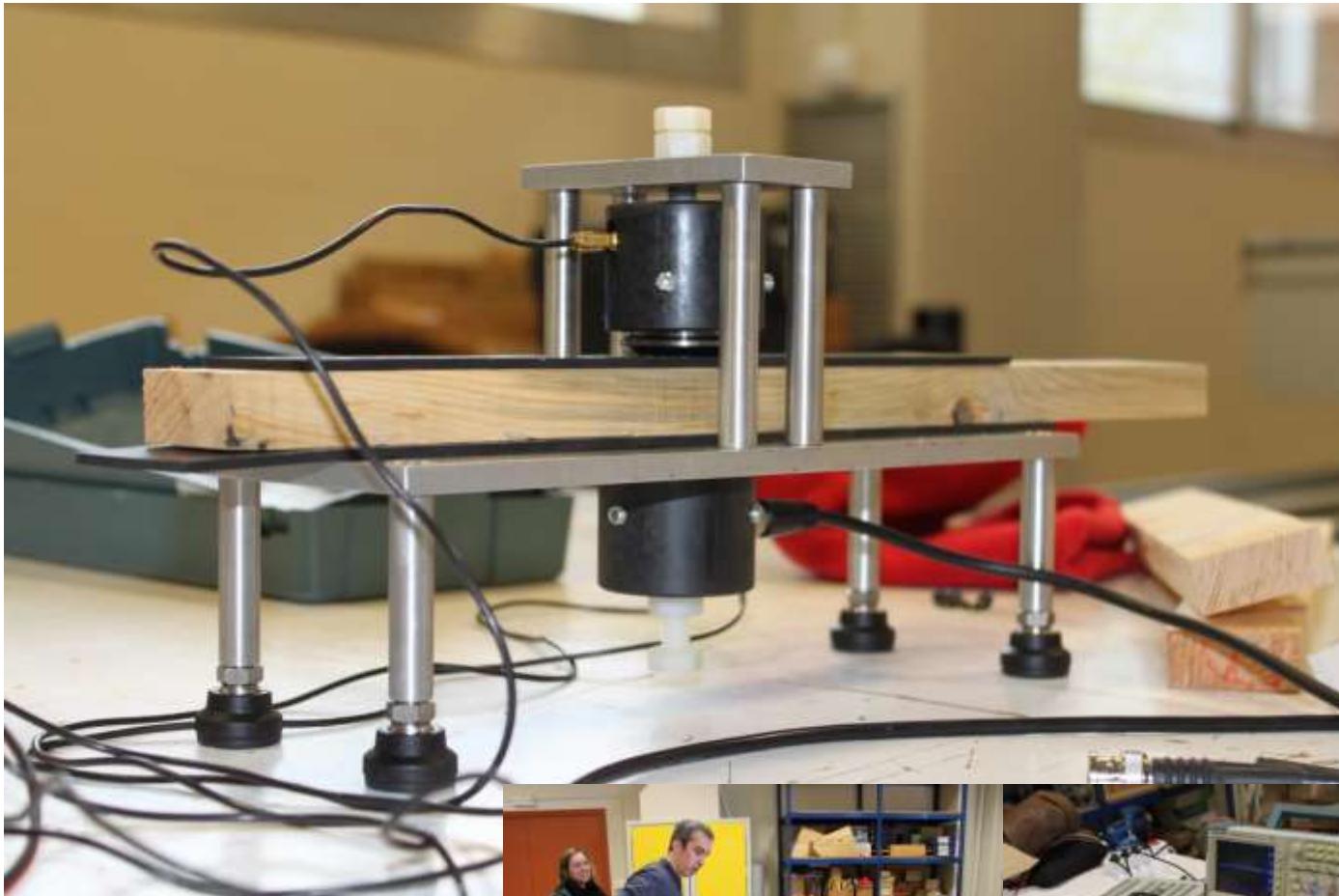
**Small test specimens to see the behaviour of the first prototype roller depending on the type of wood**

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



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

# Preliminary prototype



# Visual description

**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

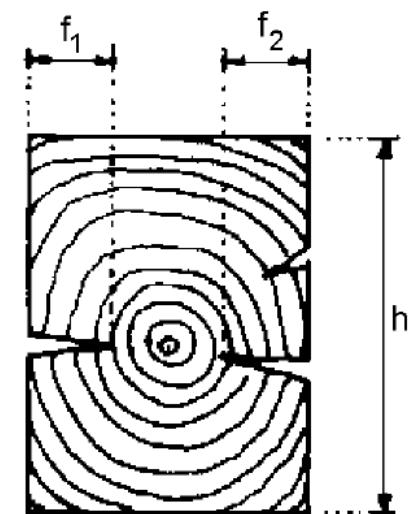
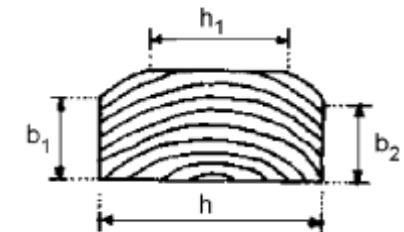
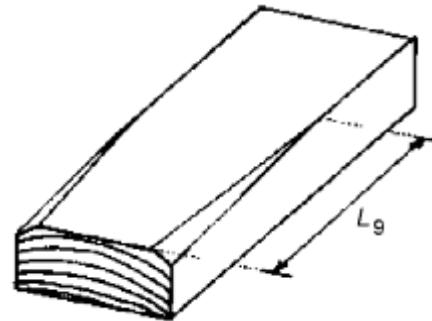
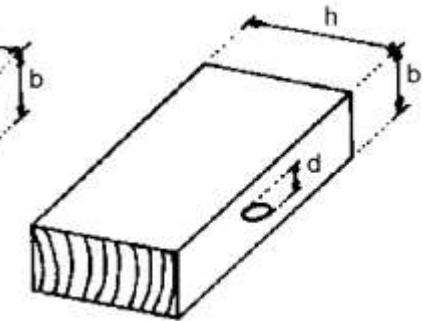
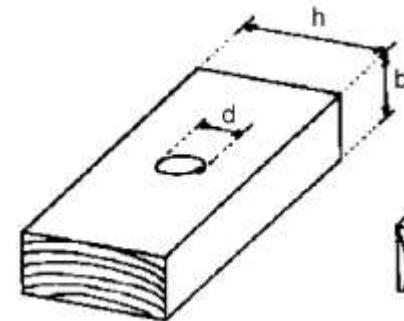
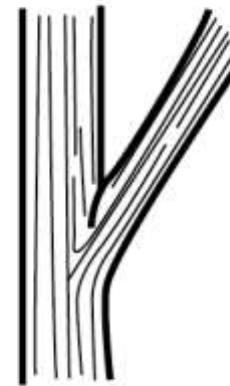
# Visual description



**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

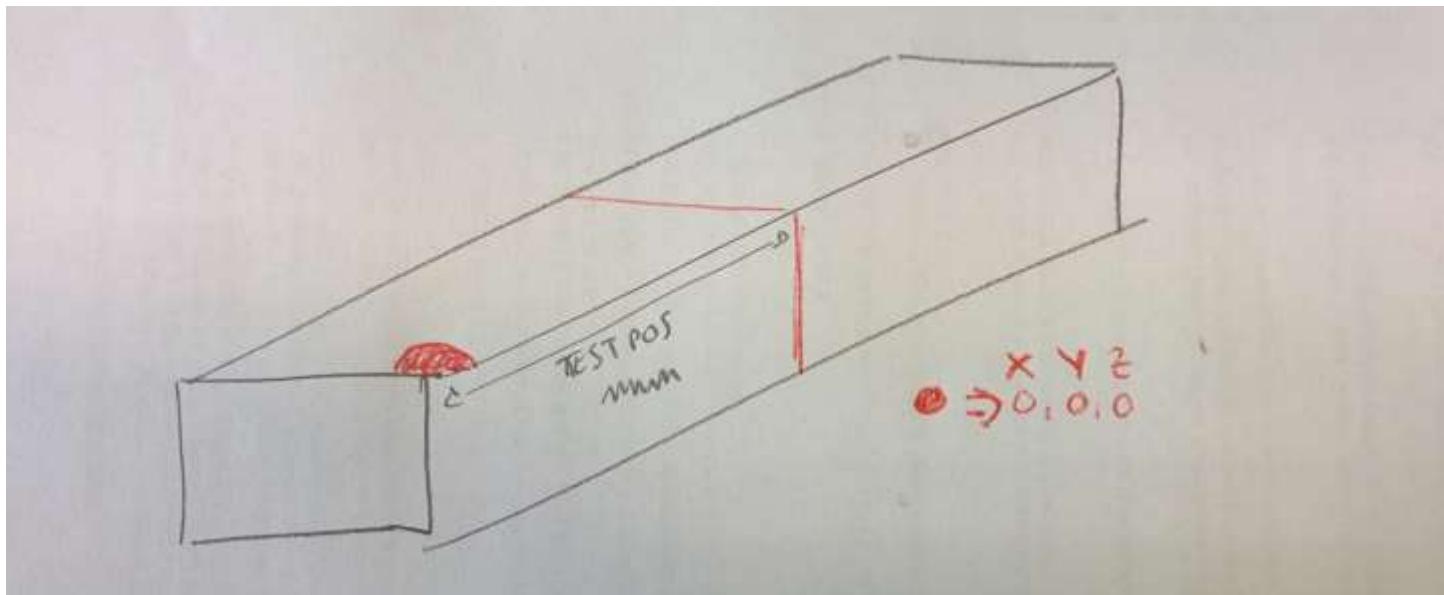
- Knots
- Breakages
- Cracks
- Insects
- Other issues



## 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



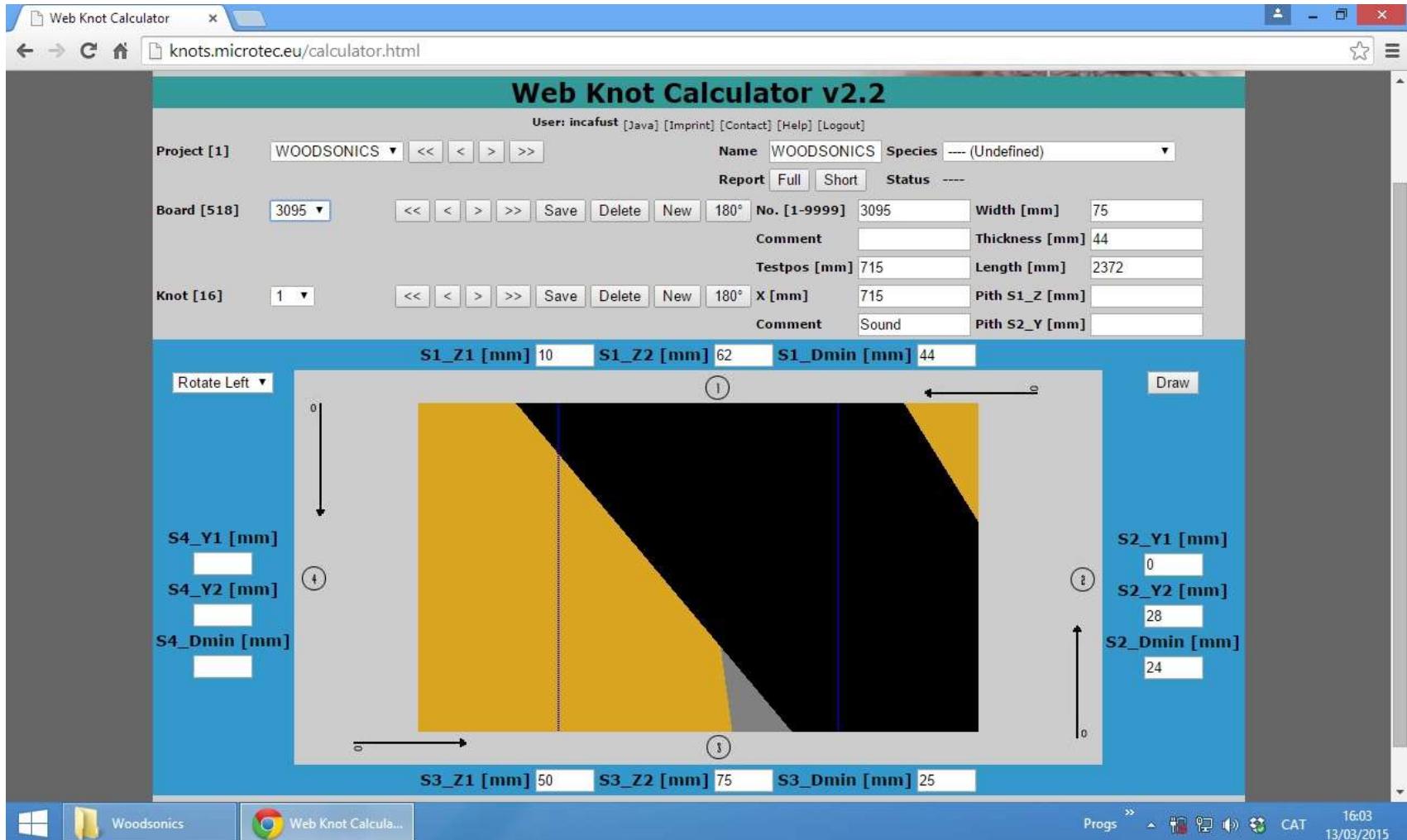
**Testpos: centre of the test span ≠ centre of the beam**

**Beam origin** ● : 0,0,0

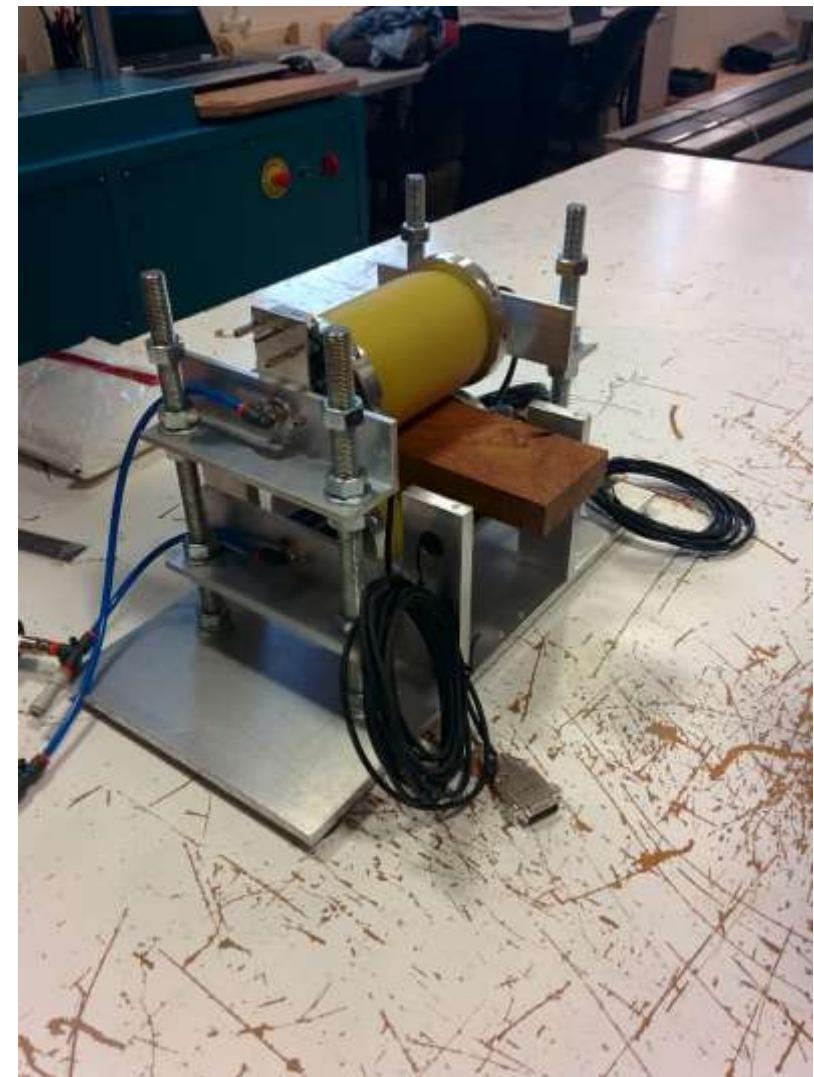
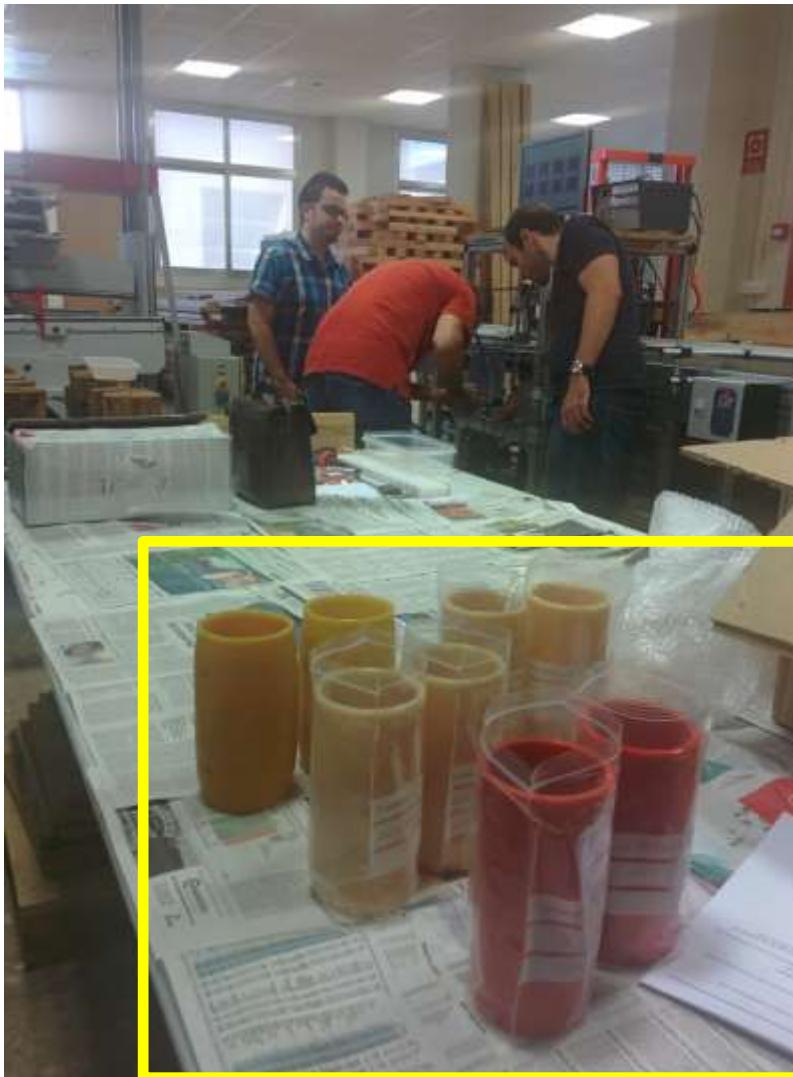
**Coordinate system for the algorithm**

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

# Webknot calculator v2.2 by Microtec



# Woodsonics scan: laboratory prototype



# Woodsonics scan: laboratory prototype



# Woodsonics scan: industrial prototype

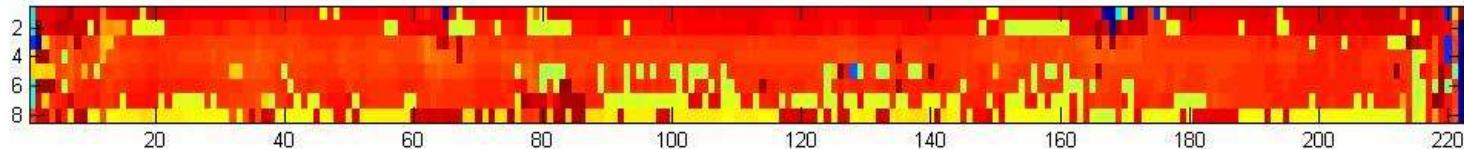


**Surface moistening  
to improve the  
contact of the rollers**

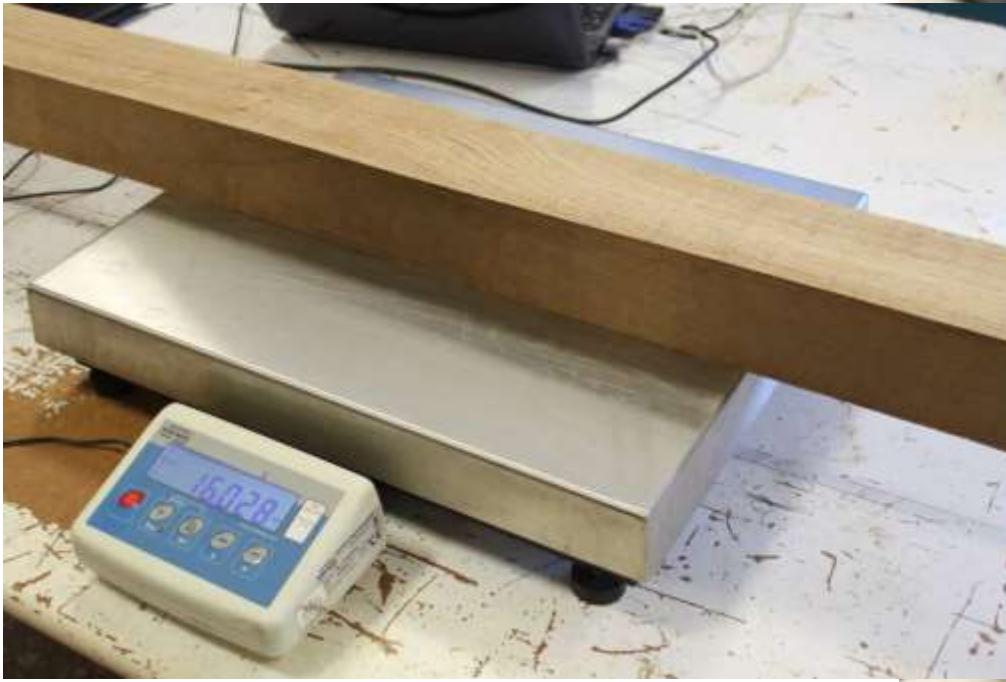
# Woodsonics scan: industrial prototype



## Beam scanning



# Physical general properties

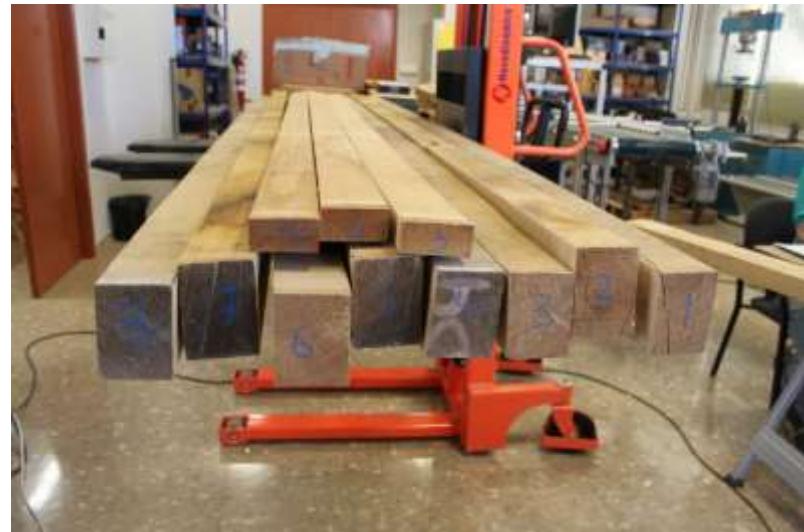
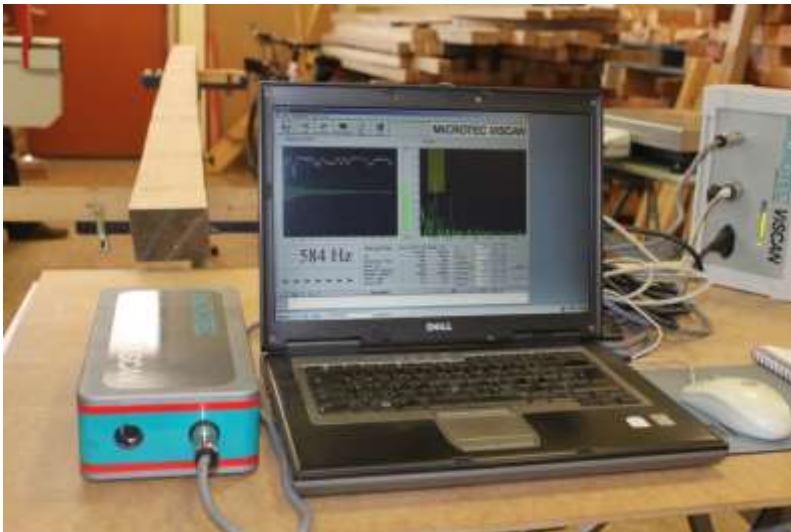


**Scale:** weight vs moisture

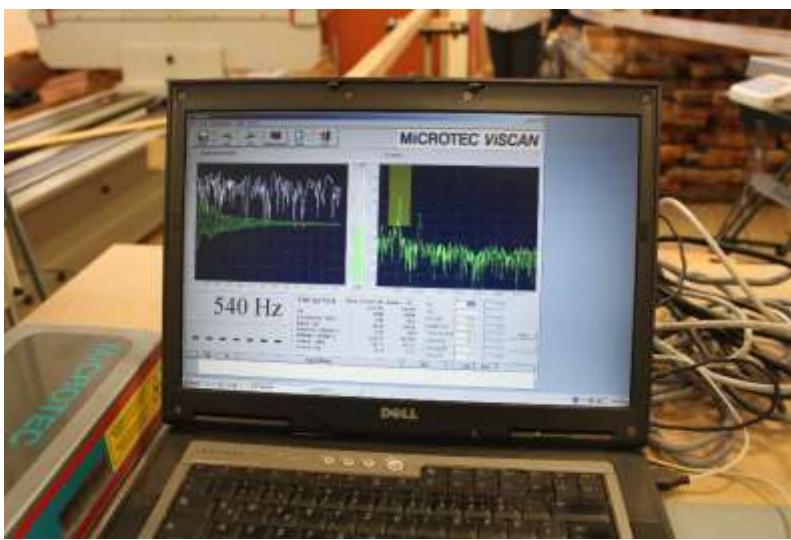


**Hygrometer (NDT)**

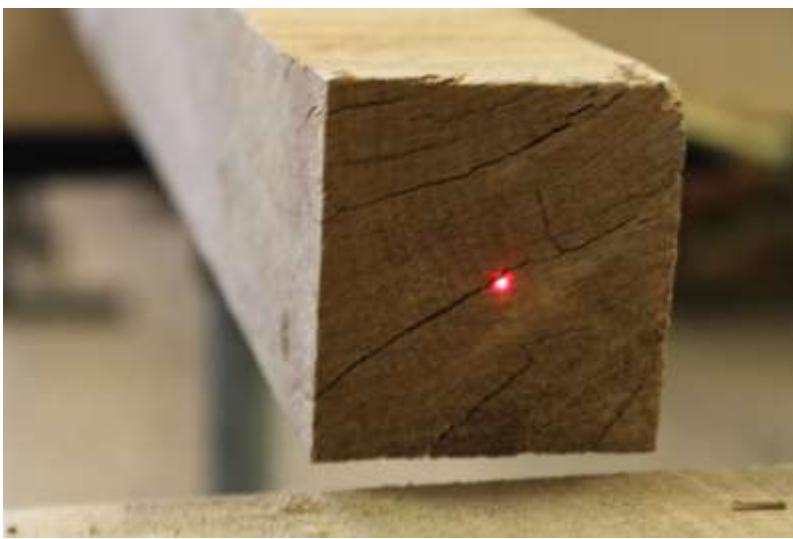
# VISCAN



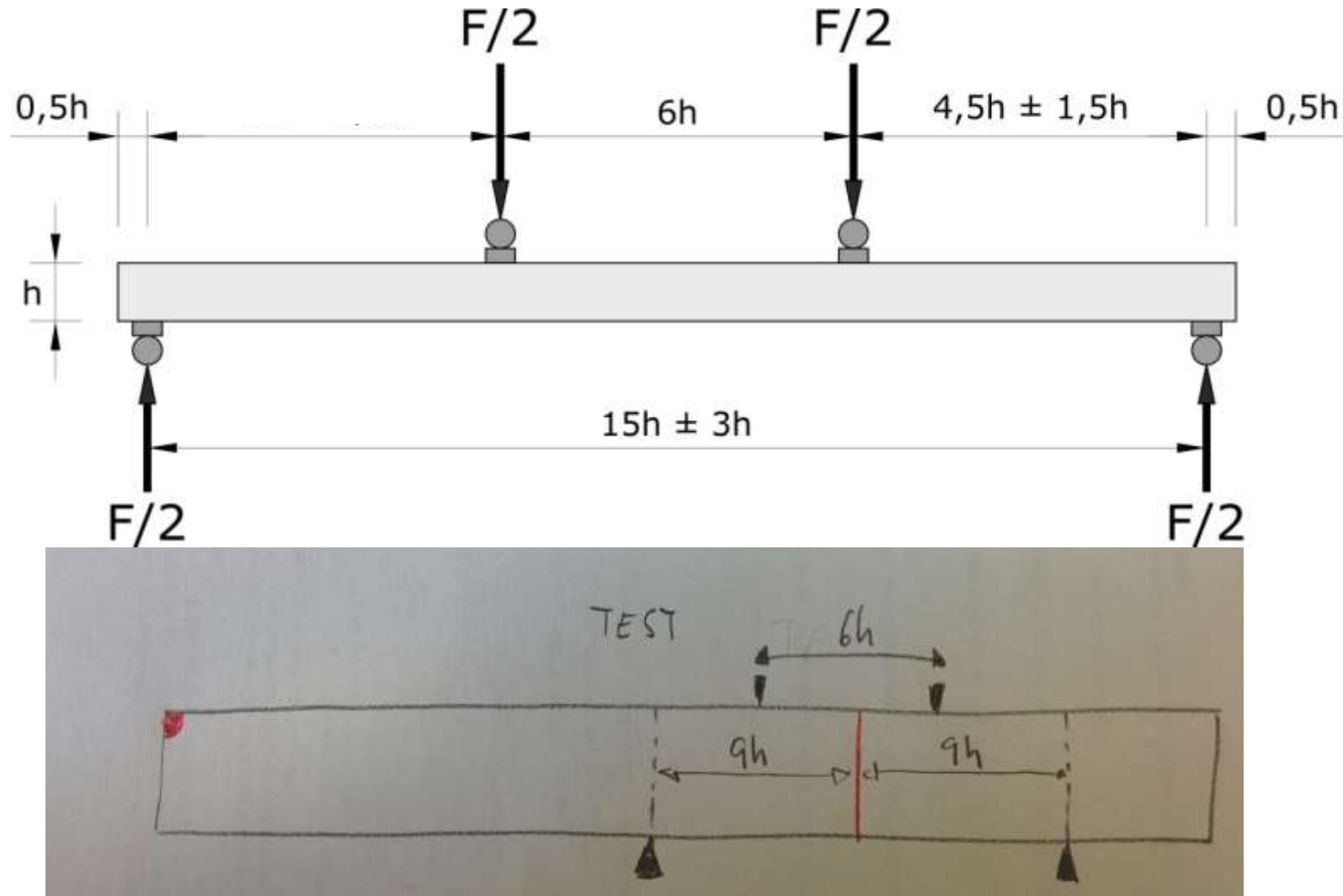
# VISCAN: timber vibration



# VISCAN: laser measurement



# Timber grading: bending tests



# Timber grading: bending tests

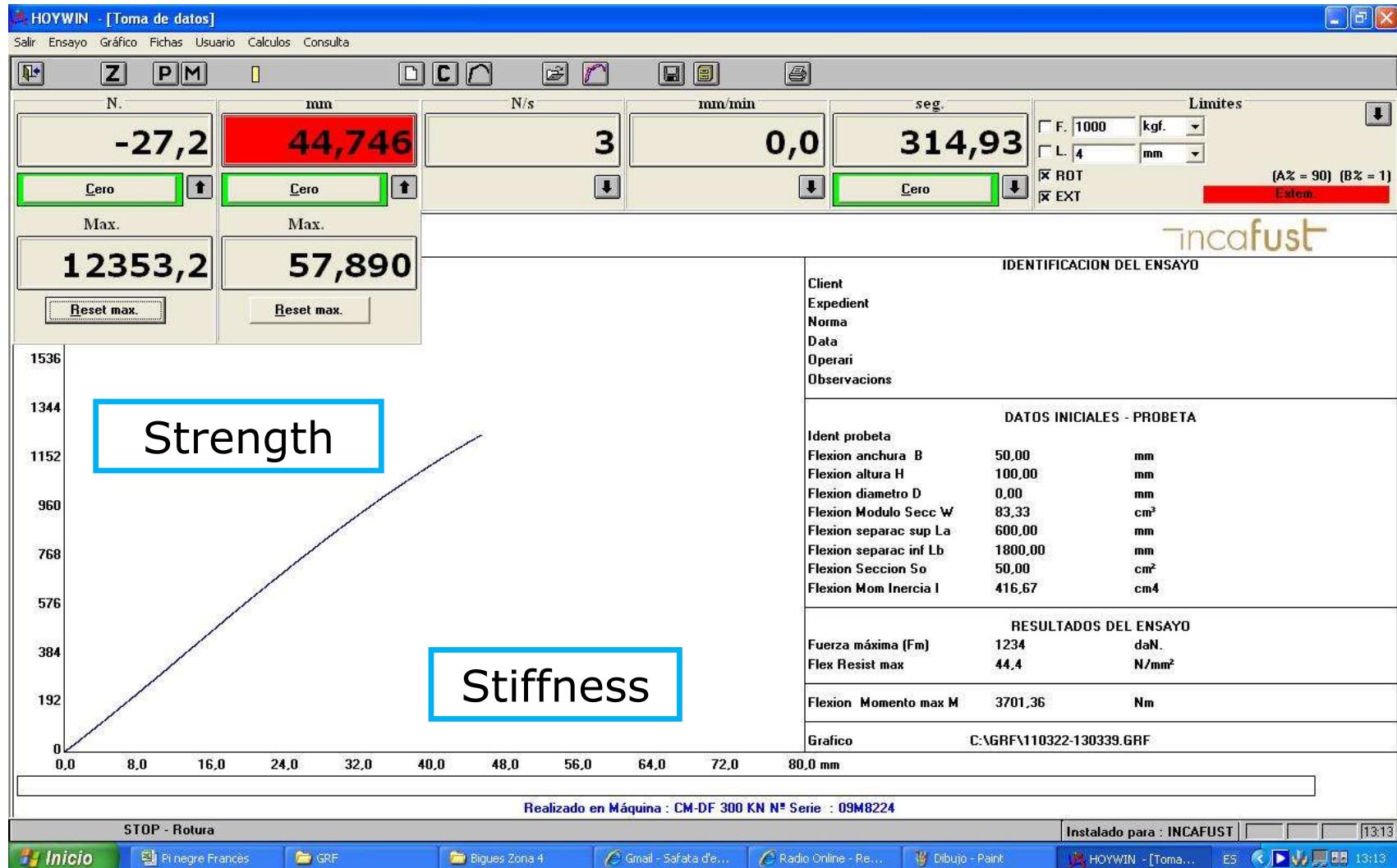


**Bending test EN 408**

**Test span: 18h**

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

# Timber grading: bending tests



# Timber grading: density tests



## Density test EN 408

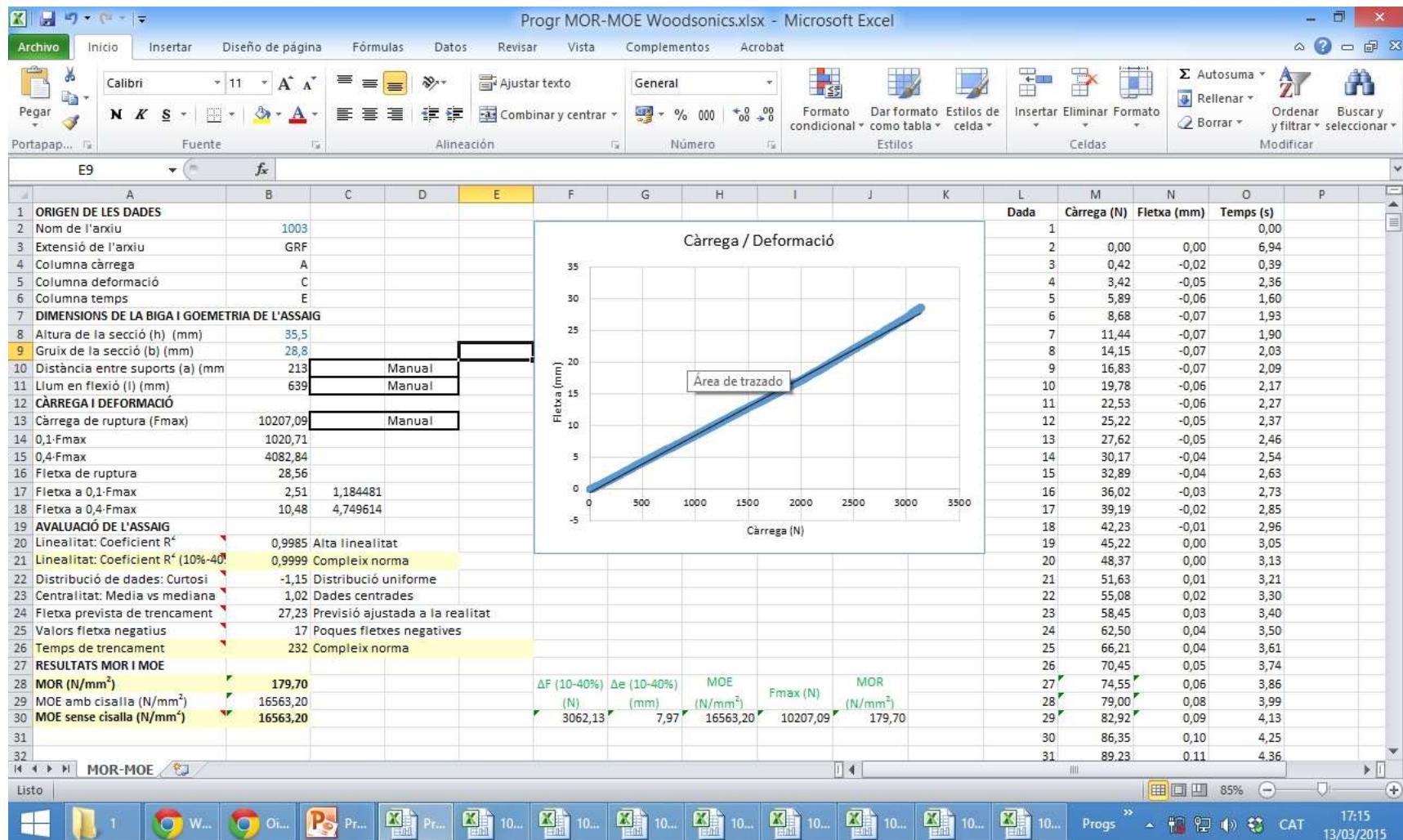
Slice extracted by the  
breakage place

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



## 6

# MOR, MOE and density calculation



# MOR, MOE and density calculation



**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**



I Jornadas LIGNOMAD  
Barcelona 20 y 21 de junio 2016

# 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





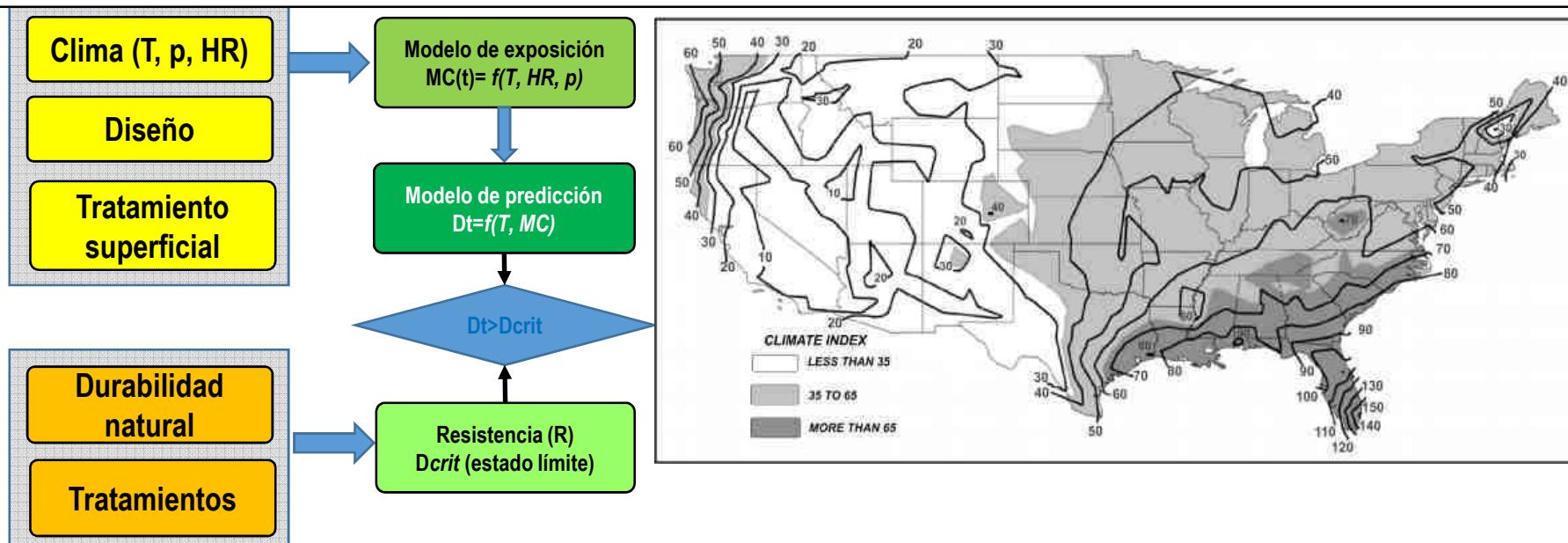
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera en aplicaciones de exterior fuera del contacto con el suelo

### 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

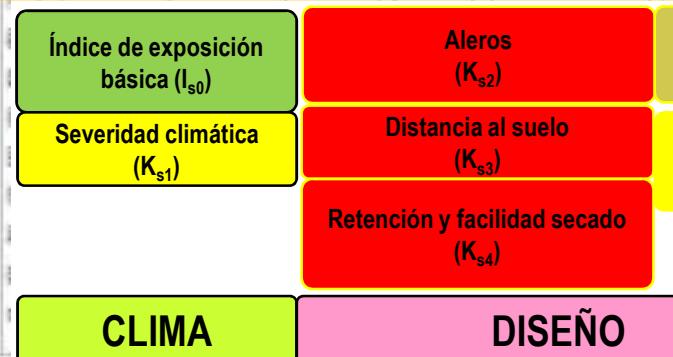
### MODELO ESPAÑOL (INIA-IETcc) → Asignación a clase de uso

- Determinación de riesgo básico ( $I_{s0}$ ) mediante el índice Scheffer modificado por condensación
- Mayoración/minoración del riesgo por efecto de factores incidentes (climatológicos locales, varios de diseño)



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

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



Valor del I. Scheffer	Puntuación ( $I_{s0}$ )
IS≤35 (Seca)	3
35 < IS≤65 (Húmeda)	3,3
IS>65 (Muy húmeda)	3,5
$I_{sk}$	Clase de uso (UNE-EN 335:2011)
0-1,4	1
1,5-2,4	2
2,5-3,4	3,1
3,5-4,4	3,2
>4,5	4

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

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

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

Eur. J. Wood Prod.  
DOI 10.1007/s00107-016-1036-z



ORIGINAL

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

Juan Fernandez-Golfín<sup>1</sup> • Enrique Larrumbide<sup>2</sup> • Antonio Ruano<sup>1</sup> •  
Jorge Galván<sup>2</sup> • María Conde<sup>1</sup>

MODELO DE ESTIMACIÓN DE CONDENSACIÓN (C)

BASES DATOS

FACTORES DE MODIFICACIÓN POR DISEÑO ( $K_{si}$ )

OBRAS/PERGOLA

EFFECTO DE LA ESPECIE/DEL PATRÓN DE CORTE

EXPOSITORES

Eur. J. Wood Prod.

Table 2. Data for provincial capitals (period 1971–2008)

Provincia (España)	WE8	ACB	BBB	WWB	WE	ACB	BBB	WWB	T	ME <sub>media</sub>	ME <sub>max</sub>	ME <sub>min</sub>	D1%	S1	S2	AL1	AL2	SL1	SL2
Alicante	1.12	1.07	123.3	2094.2	0.71	0.64	12.7	12.1	10.4	8.8	8	21	34	1.8	12				
Almería	0.21	1.18	126.6	1374.0	0.71	0.64	12.8	12.6	13	11.7	1.1	16	26	1.0	12				
Alava	0.13	1.39	376.0	1111.0	0.71	0.68	16.7	12.9	15.5	11.9	2	1	17	1.4	11				
Avilés	1.67	0.39	198.0	2386.0	0.71	0.59	19.3	11	16.1	9.1	9	21	48	2.3	17				
Baleares	0.39	1.89	381.0	1862.0	0.68	0.55	16.6	12.9	17.3	9.1	8.2	20	36	2.9	19				
Barcelona	0.62	0.30	265.0	1871.0	0.64	0.56	13.2	13.0	13.6	12.8	1.7	17	12	1.1	1				
Bariloche	0.81	0.39	175.7	2008.0	0.49	0.39	14.2	14	14.3	11.2	1	16	151	1.2	47				
Burgos	1.76	0.24	316.0	2332.0	0.7	0.69	30.2	14.3	16.2	11.1	7.1	30	70	2.2	18				
Cádiz	0.67	1.35	168.0	1961.1	0.67	0.51	15.1	10.9	15.7	6.9	4.8	30	49	2.2	15				
Cáceres	1.09	1.09	410.0	1115.0	0.72	0.65	16.6	13.7	15	12.6	2.4	28	39	1.4	11				
Cantabria	0.41	1.30	425.0	1620.0	0.67	0.57	17	12.7	13.5	11.9	1.6	18	79	3.3	22				
Castellón	1.01	1.11	328.0	2466.0	0.74	0.59	14.2	11.9	17	8.1	6.9	26	31	1.0	25				
Ceuta	0.81	1.65	406.2	1671.0	0.71	0.61	15.7	11.2	16.8	8	8.1	16	35	2.2	19				
A Coruña	0.68	0.00	32.0	1894.2	0.54	0.42	15.5	13.2	15.7	10.2	1.5	17	113	1.2	38				
Córdoba	1.36	0.77	118.2	2881.2	0.7	0.56	12.8	11.9	13.0	8.3	3.3	26	42	1.1	13				
Granada	0.91	0.72	301.0	2308.0	0.6	0.55	14.2	10.8	15.7	11.4	4.2	30	39	1.8	1				
Grenada	0.63	1.32	309.0	2298.2	0.71	0.61	13.1	11	15.1	7.3	2.6	19	38	1.2	29				
Guadalajara	1.06	0.65	176.0	21900.0	0.69	0.51	10.3	11.6	12	8.8	9.2	20	31	1.0	32				
Huelva	0.16	1.41	510.0	1210.0	0.74	0.61	14.1	12.2	15	9.8	5.6	26	42	1.4	16				
Huesca	1.03	0.83	158.1	2590.0	0.69	0.58	13.6	13.9	13.7	8.9	7.9	27	38	1.4	11				
Jaén	0.54	1.89	170.0	1875.0	0.74	0.62	17.1	11	14.3	7.3	6.9	26	36	1.2	5				
Zaragoza	1.29	0.38	101.2	1226.0	0.7	0.59	10.8	13.2	17.4	10.2	2.2	21	32	2.2	45				
Lugo	1.04	0.69	292.5	2474.2	0.69	0.53	13.9	12.9	16	8.4	5.6	40	54	1.4	14				
Zaragoza	0.91	1.13	441.5	2338.0	0.71	0.55	14.7	12.8	17.4	9.3	8.1	21	41	2.9	42				
Zagreb	1.01	0.66	182.0	2166.0	0.62	0.51	11.5	12.2	18.1	11	4.1	31	39	1.8	13				
Madrid	1.06	1.00	166.2	1217.0	0.72	0.55	16.6	10.7	13.6	5.1	7.3	21	42	1.8	22				
Málaga	1.20	1.23	496.0	1227.6	0.71	0.61	18	12.4	14.2	10.0	3.4	16	36	2.3	18				
Manresa	0.37	1.68	422.0	1518.0	0.64	0.56	18.6	10.6	18.1	6.9	4.2	19	36	2.6	23				
Palma de Mallorca	0.69	0.77	318.0	2186.0	0.61	0.51	14.2	12.9	15.0	10.8	4.6	34	39	1.0	47				
Palma de Mallorca	1.01	0.07	191.2	2070.0	0.66	0.51	12.9	13.0	18.3	10.8	1.7	31	32	1.0	49				
Palencia	1.06	0.41	191.2	2010.0	0.74	0.56	13.7	12.6	16.9	9.3	3.8	31	34	1.2	37				
Palencia	0.25	1.26	406.4	1358.0	0.66	0.54	18	13.5	16	12.3	1.7	29	41	1.5	14				
Pamplona	1.26	0.43	216.0	3716.0	0.60	0.5	12.3	13	16	10.8	3.4	40	44	1.9	43				
Pontevedra	0.09	0.37	161.0	1617.0	0.69	0.48	14.8	13.2	14.3	11.1	2.4	30	37	1.1	7				
Solana de Albarracín	1.41	0.18	254.0	2851.0	0.73	0.59	11.7	11	0.1	8.4	8.7	21	33	1.7	31				
Son Sardina	0.01	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	13.9	17	11.6	2.4	30	12.1	1.0	28				
Sos del Rey Católico	0.68	0.04	322.0	1806.2	0.59	0.47	14.1	14.6	15.4	10.2	1.2	30	32	1.0	33				
Segovia	1.44	0.55	302.0	2852.5	0.71	0.5	12.9	11.9	15.5	9.2	7	25	39	1.0	14				
Sevilla	0.29	1.87	311.0	1418.0	0.74	0.66	18.6	11.8	14.5	8.5	6.5	35	38	1.5	13				
Soria	1.68	0.42	198.0	2266.0	0.7	0.52	16.6	13	16.4	8.0	4.4	34	46	2.2	32				
Tarazona	0.40	1.25	311.0	1583.0	0.66	0.59	17.3	11.8	13.1	9.5	2.8	24	44	1.8	21				
Teruel	1.49	0.62	264.0	3844.0	0.69	0.59	11.8	12.8	16.1	9.6	4.5	18	32	1.3	33				
Tolosa	0.81	1.59	604.0	2090.0	0.71	0.61	15.3	11.2	16.5	4	3.7	21	30	1.7	34				
Villanueva de la Cañada	0.01	1.28	417.0	1808.1	0.68	0.58	17.0	12.1	12.0	11.7	1.2	31	32	2.4	36				
Villaviciosa	1.34	0.72	311.7	2841.0	0.73	0.61	12.3	12.3	17.7	8.7	9	22	41	2.2	38				
Vivac	1.01	0.17	114.5	2801.0	0.64	0.47	14.4	14.9	17.7	10.5	4.2	45	36	1.7	32				
Zaragoza	1.28	0.69	2801.0	2791.0	0.71	0.57	11.8	12.6	17.4	6	3.4	38	30	0.8	19	33			



## 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

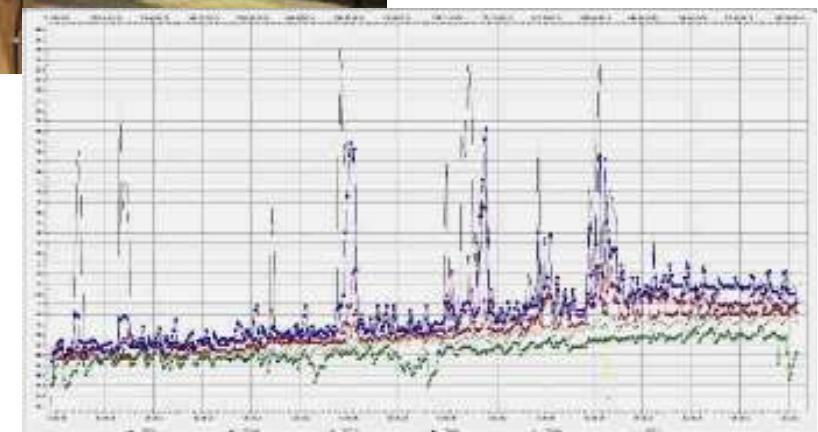
- Determinación de riesgo básico ( $I_o$ ) mediante índices (Scheffer modificado por condensación)
- Mayoración/minoración del riesgo por efecto de factores incidentes (climatológicos locales, varios de diseño)

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

### PERGOLA



- Monitorización en continuo de MC y T<sup>a</sup>
  - ✓ 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 T<sup>a</sup> 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 tambien P. silvestre de gruesa escuadria (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)



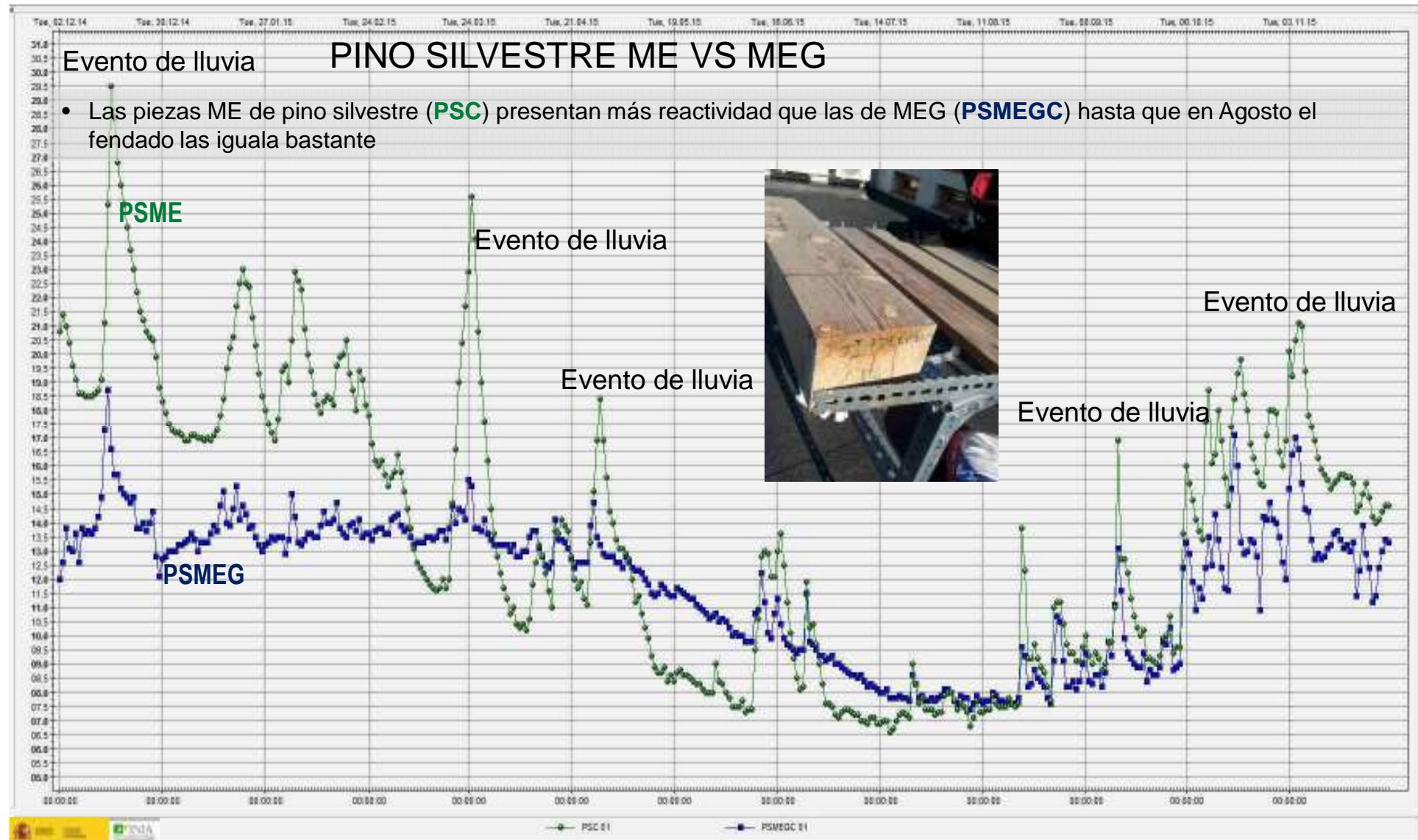
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

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



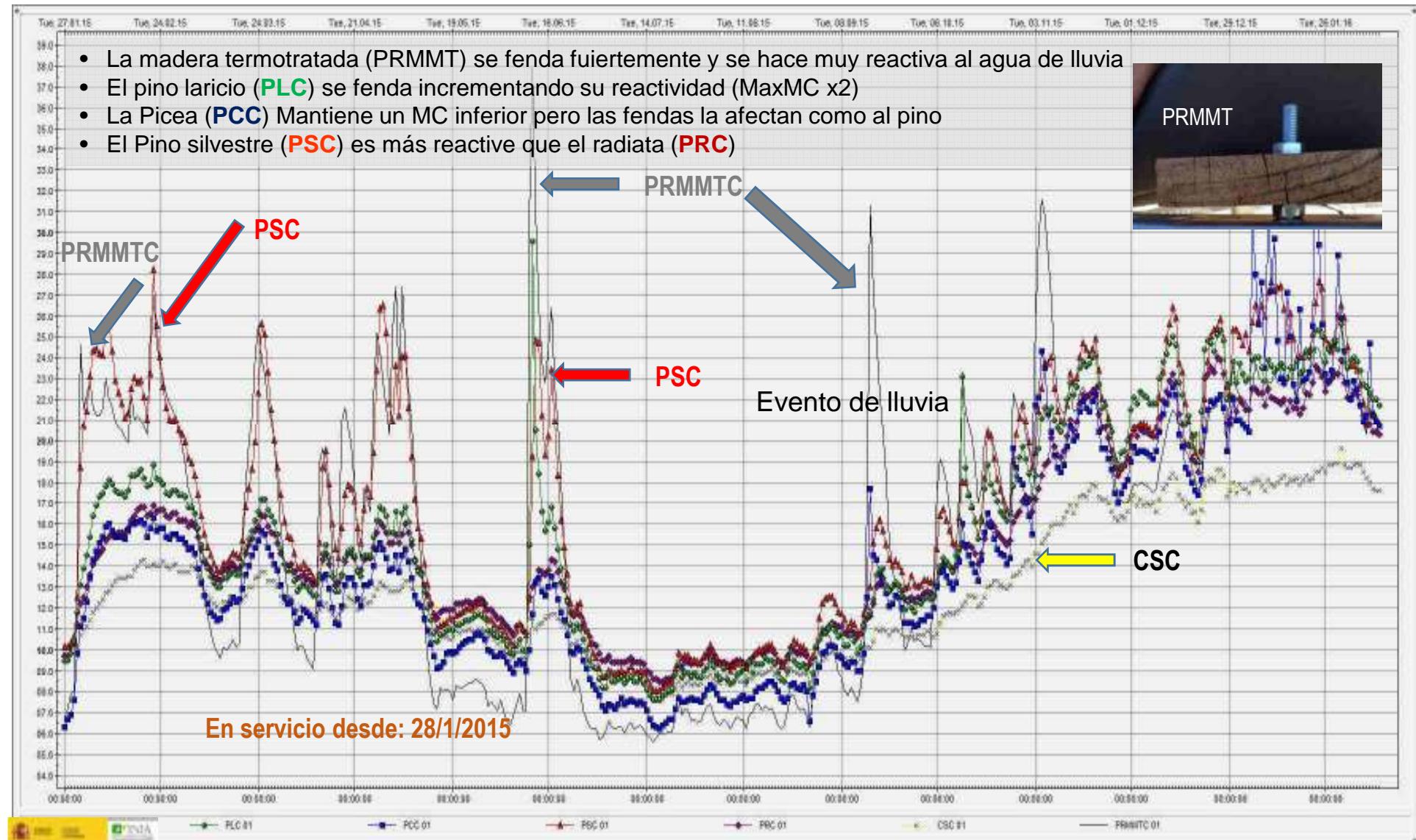
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

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



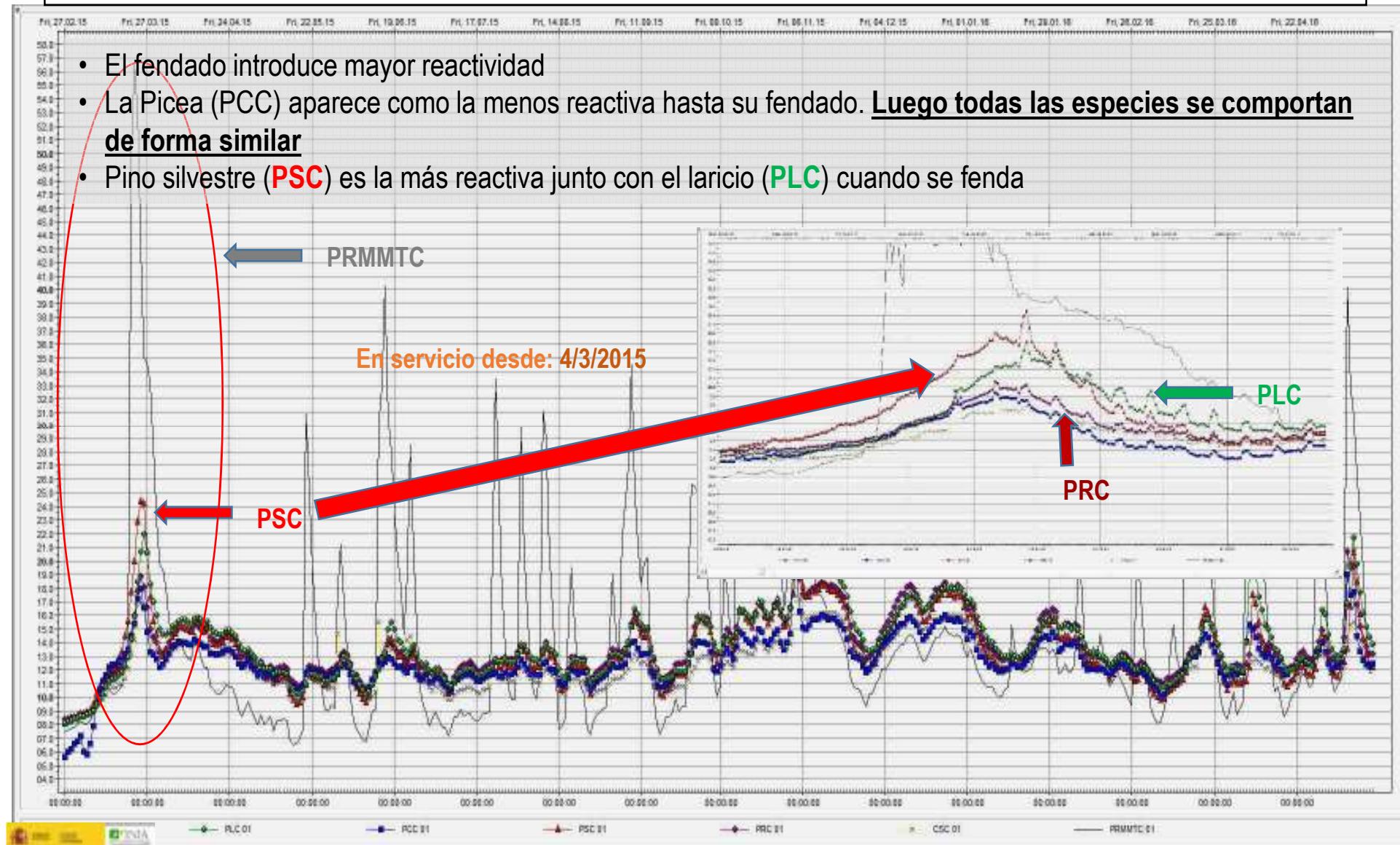
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

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



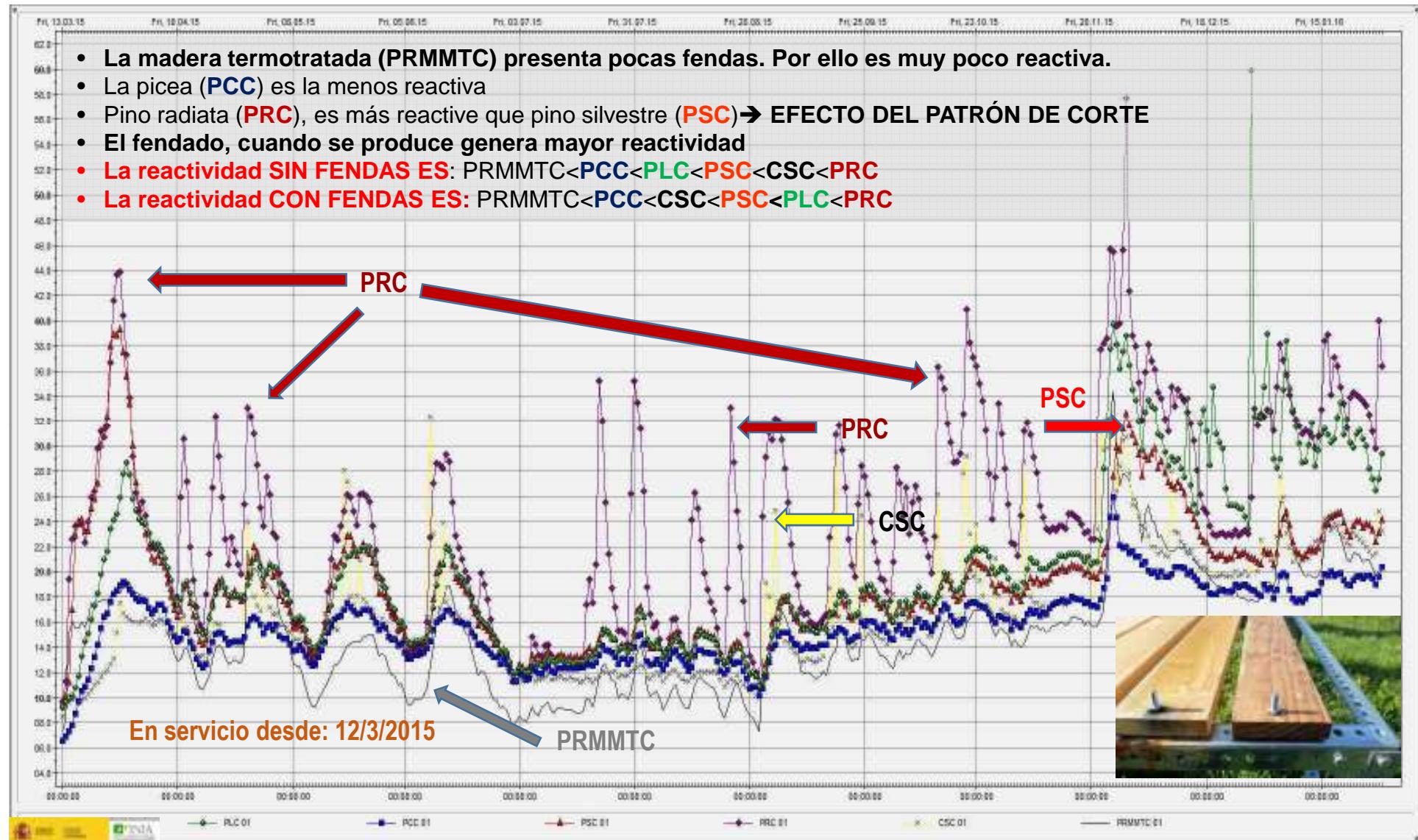
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

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



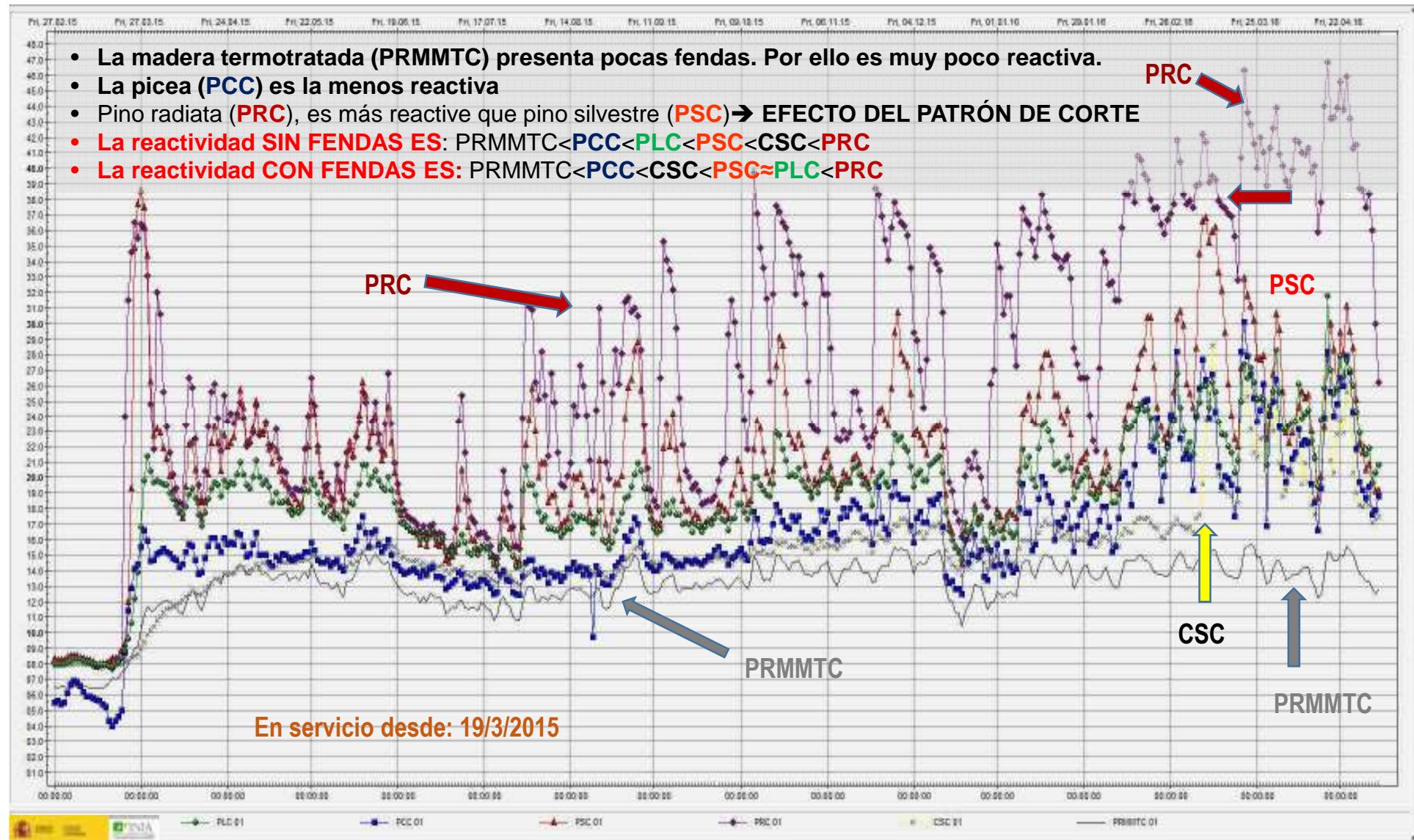
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

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



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

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





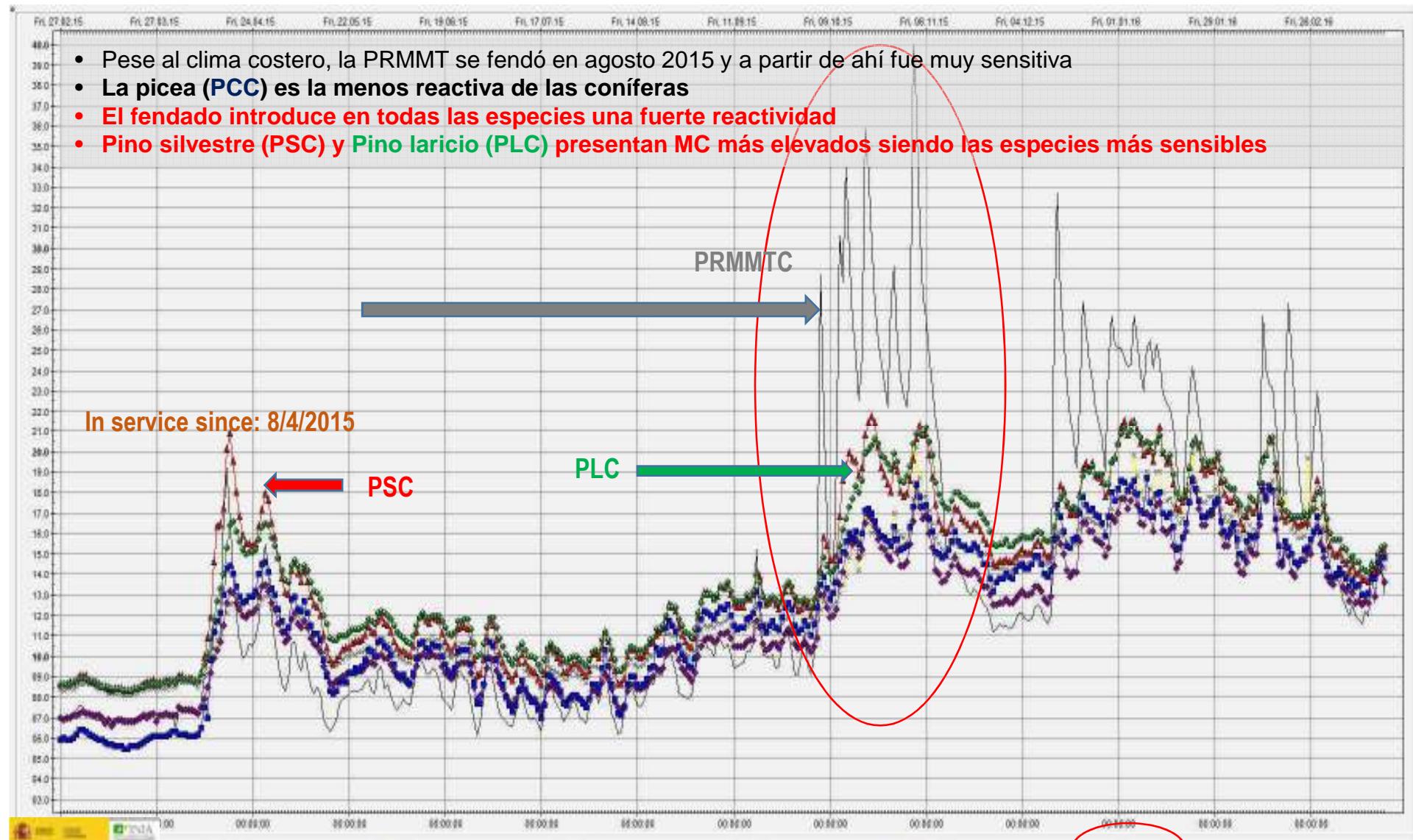
## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

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



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

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



## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

### ALGUNAS CONCLUSIONES

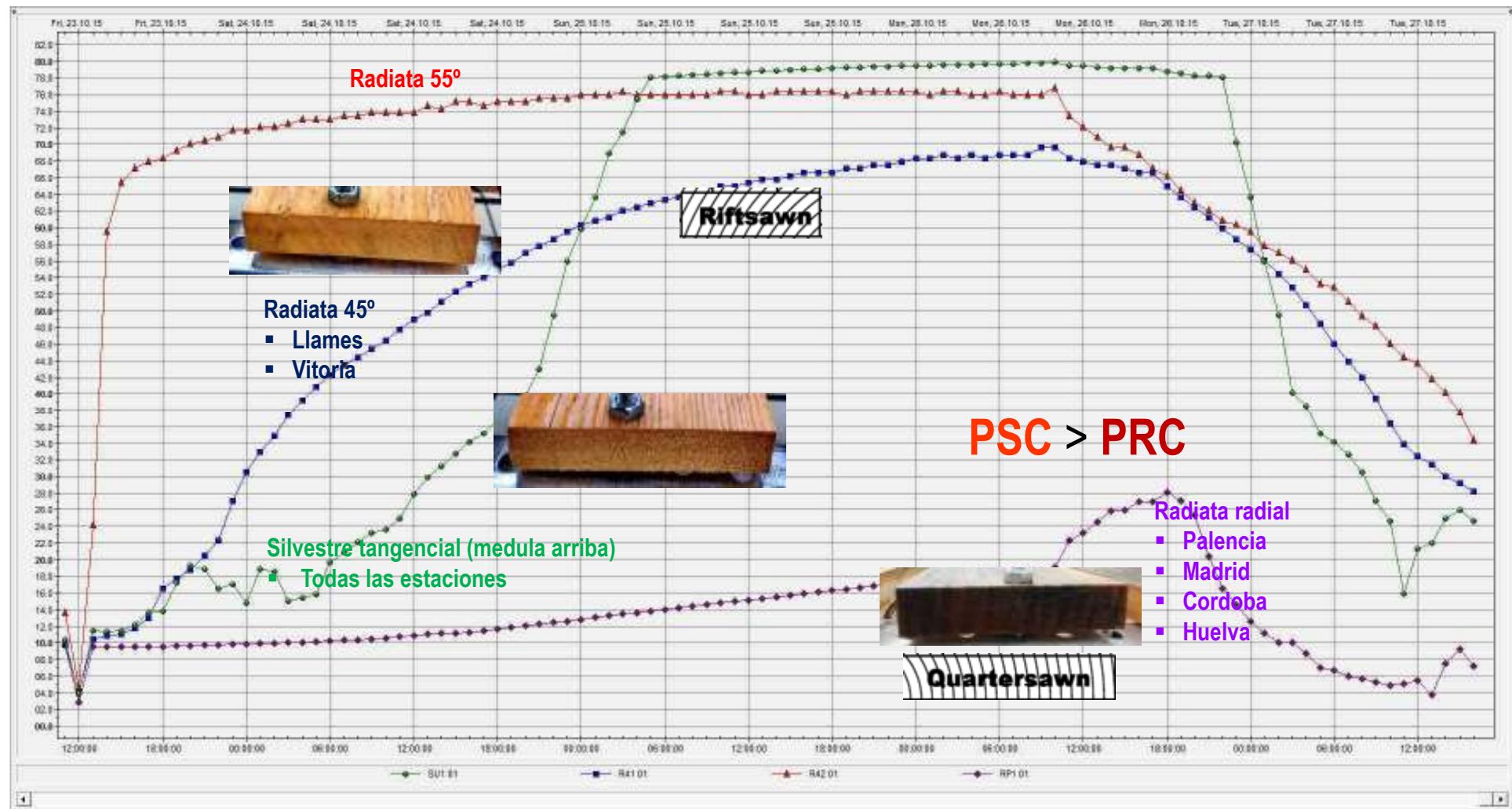
- **Lo que más diferencia el comportamiento sorptivo al exterior de las especies es la lluvia, no la humedad relativa**
- **La humedad por si sola no pone en riesgo a la madera ( $MC>20\%$ ), el factor incidente es la lluvia**
- El “tiempo de mojado” (TOW) ( $MC>25\%$ ) es muy reducido en todas las estaciones 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≈PCC<PLC<(PSC ≈ 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....**

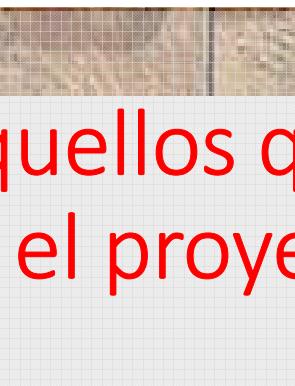


## Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior

### Efecto del patrón de aserrado

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





IMAO  
nio 2016

# Gracias a todos aquellos que están contribuyendo en el proyecto



Universidad de Huelva



UNIVERSIDAD DE CORDOBA  
Escuela Técnica Superior  
de Ingenierías Agrarias Palencia



Escuela Técnica Superior  
de Ingenierías Agrarias Palencia



Universidad  
Europea

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES



**taujel**  
CARPINTERÍA HISTÓRICA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
INIA  
Instituto Nacional de Investigación  
y Tecnología Agraria y Alimentaria



GOBIERNO  
DE ESPAÑA  
MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE



INSTITUTO  
DE  
ESTUDIOS  
IBEROAMERICANOS  
19



E. Perea (privado)  
R. Capuz (privado)  
R. Sánchez (UCO)  
C. Pérez-Carral (UHU)  
L. Acuña (UVA-Palencia)  
M. Conde (INIA)  
R. Diez (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)



I Jornadas LIGNOMAD  
Barcelona 20 y 21 de Junio 2016

# LIGNOMAD



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



PEMADE  
PLATAFORMA DE ENXEÑERIA  
DA MADEIRA ESTRUTURAL

INSTITU  
TO  
EDUAR  
DO  
TOR  
ROJA



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

CONSTRUCCION CON MADERA  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Gicited  
Grup Interdisciplinari de Ciència i  
Tecnologia de l'Educació



Universidad  
de Navarra

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



MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD

