



[www.reppel.nl](http://www.reppel.nl)

## Estructuras de madera 7.8. Comprobación a fuego

FACULTAD DE  
INGENIERIA



## 1. Introducción

2. Carbonización de la madera

3. Valores de cálculo y combinación de acciones

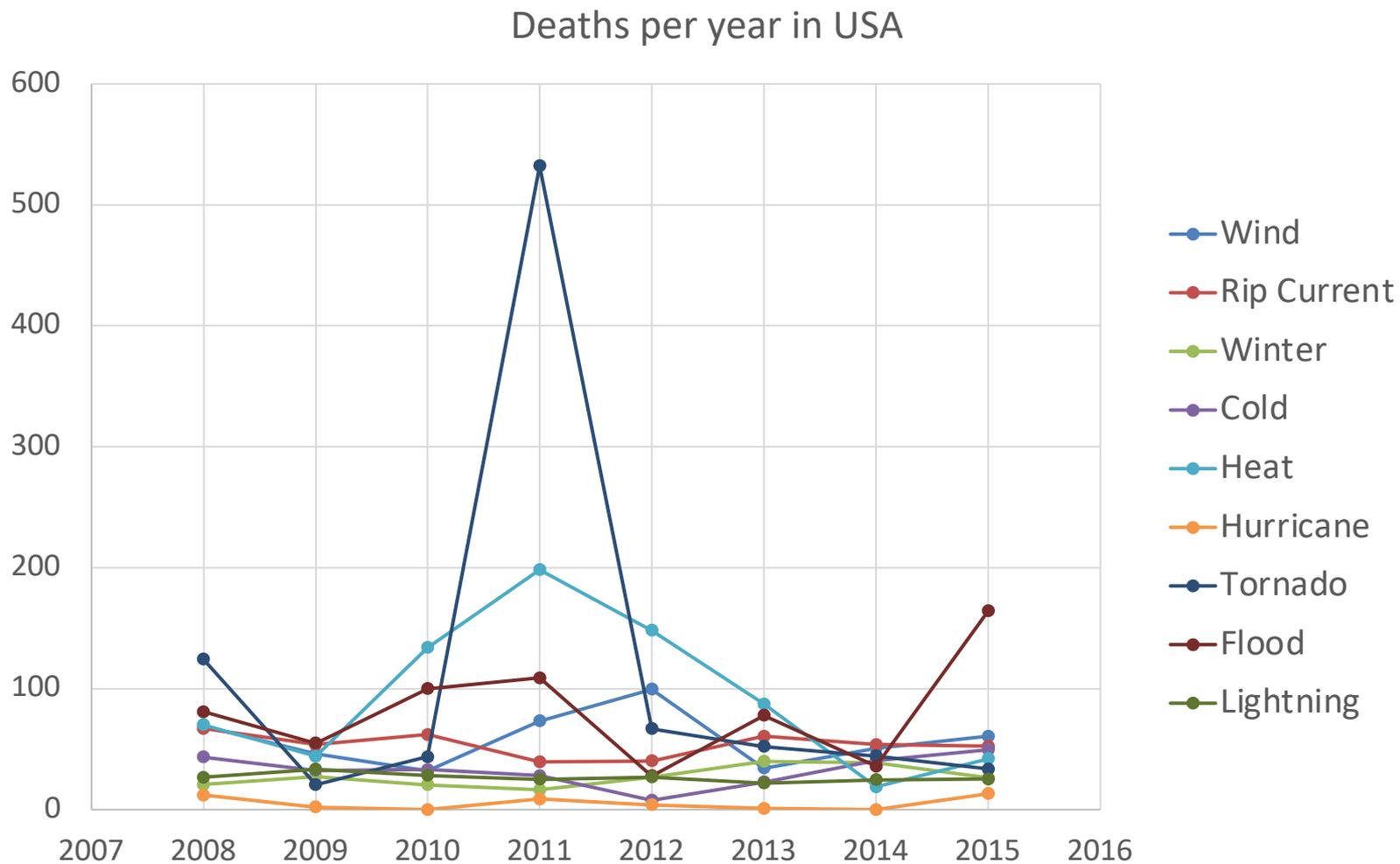
4. Cálculo de la resistencia mecánica frente al  
fuego: método de la sección eficaz

5. Protección

6. Uniones

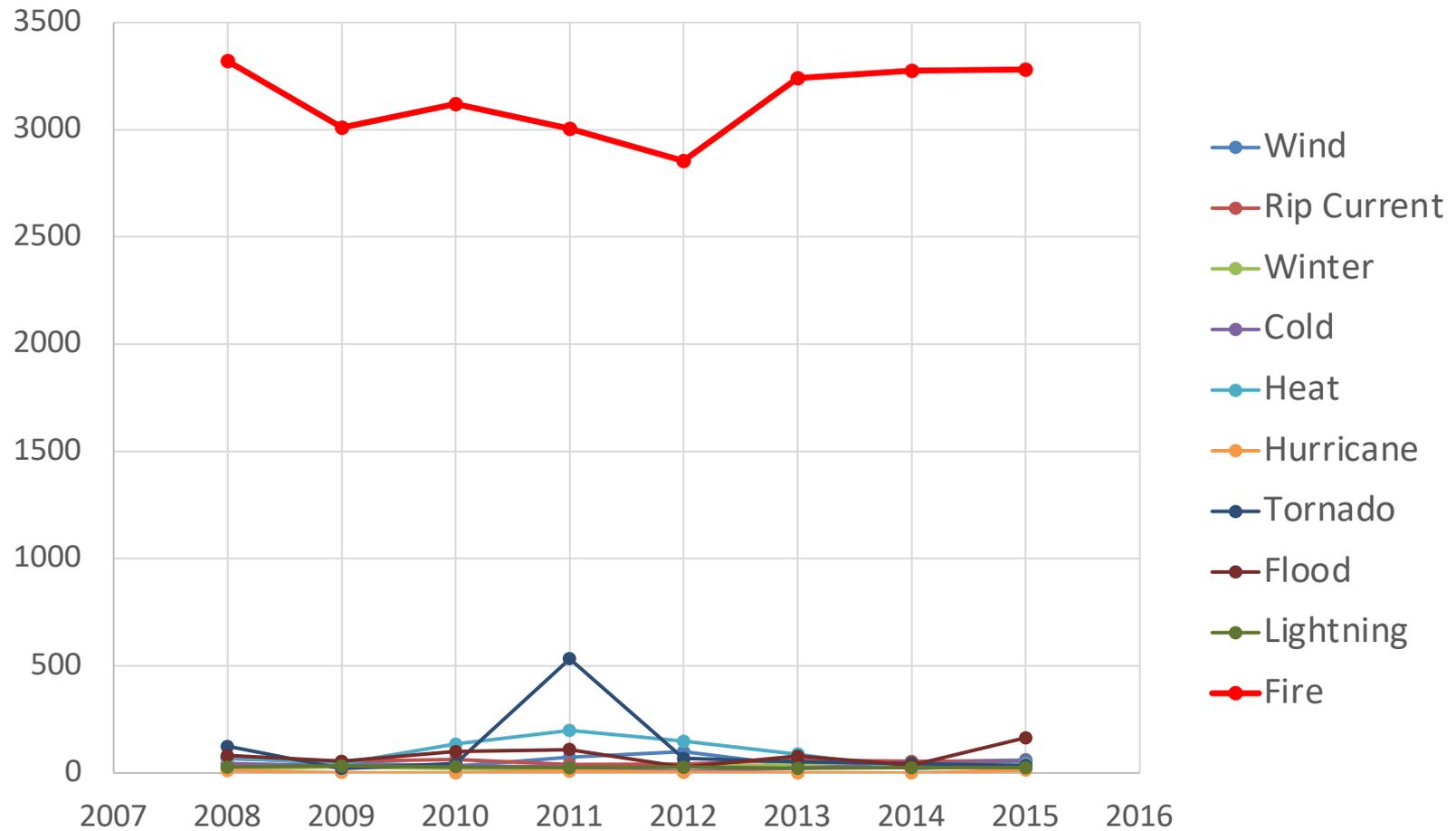
## 7.8. Comprobación a fuego

## INTRODUCCIÓN



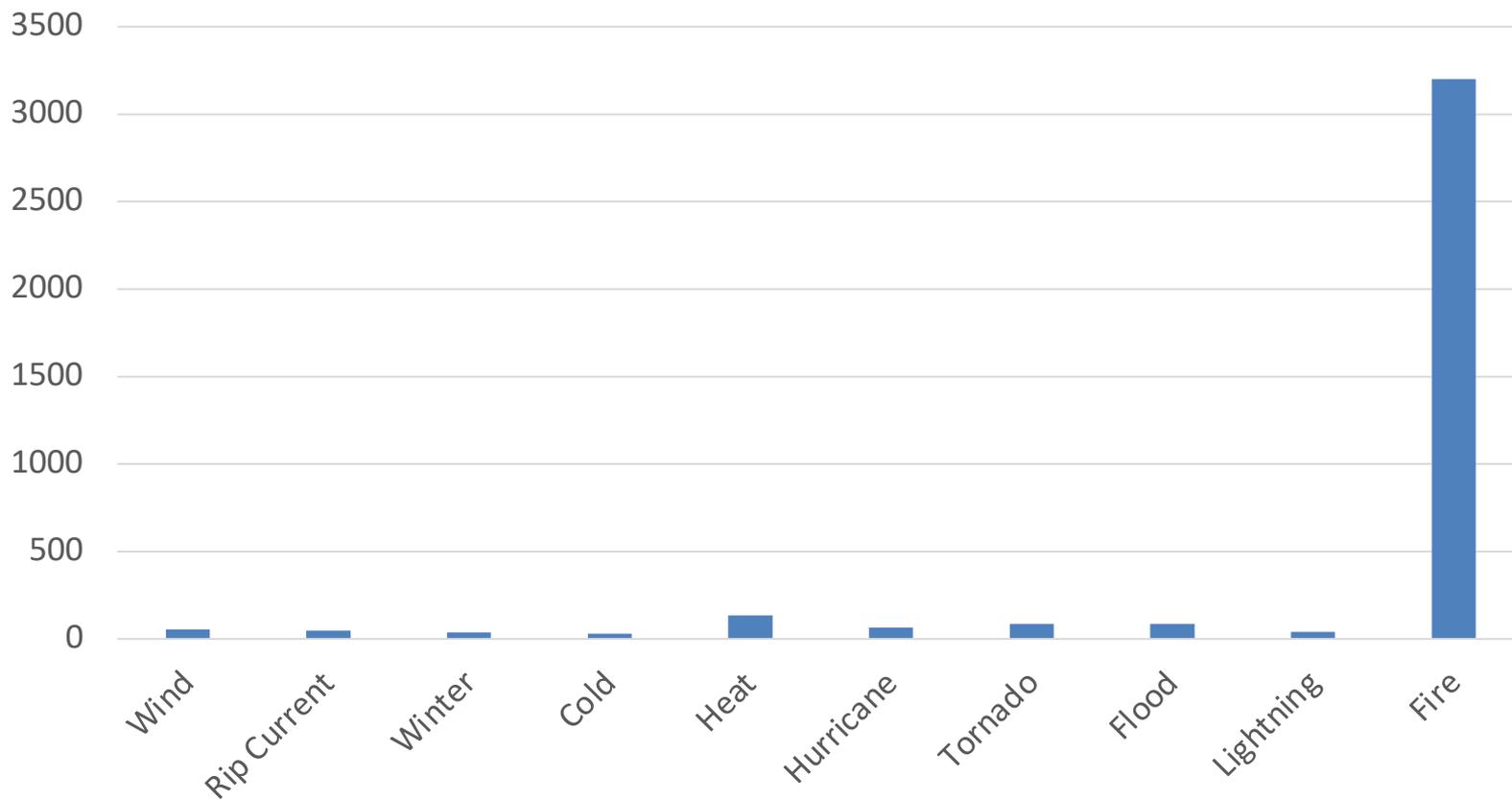
## INTRODUCCIÓN

Deaths per year in USA



## INTRODUCCIÓN

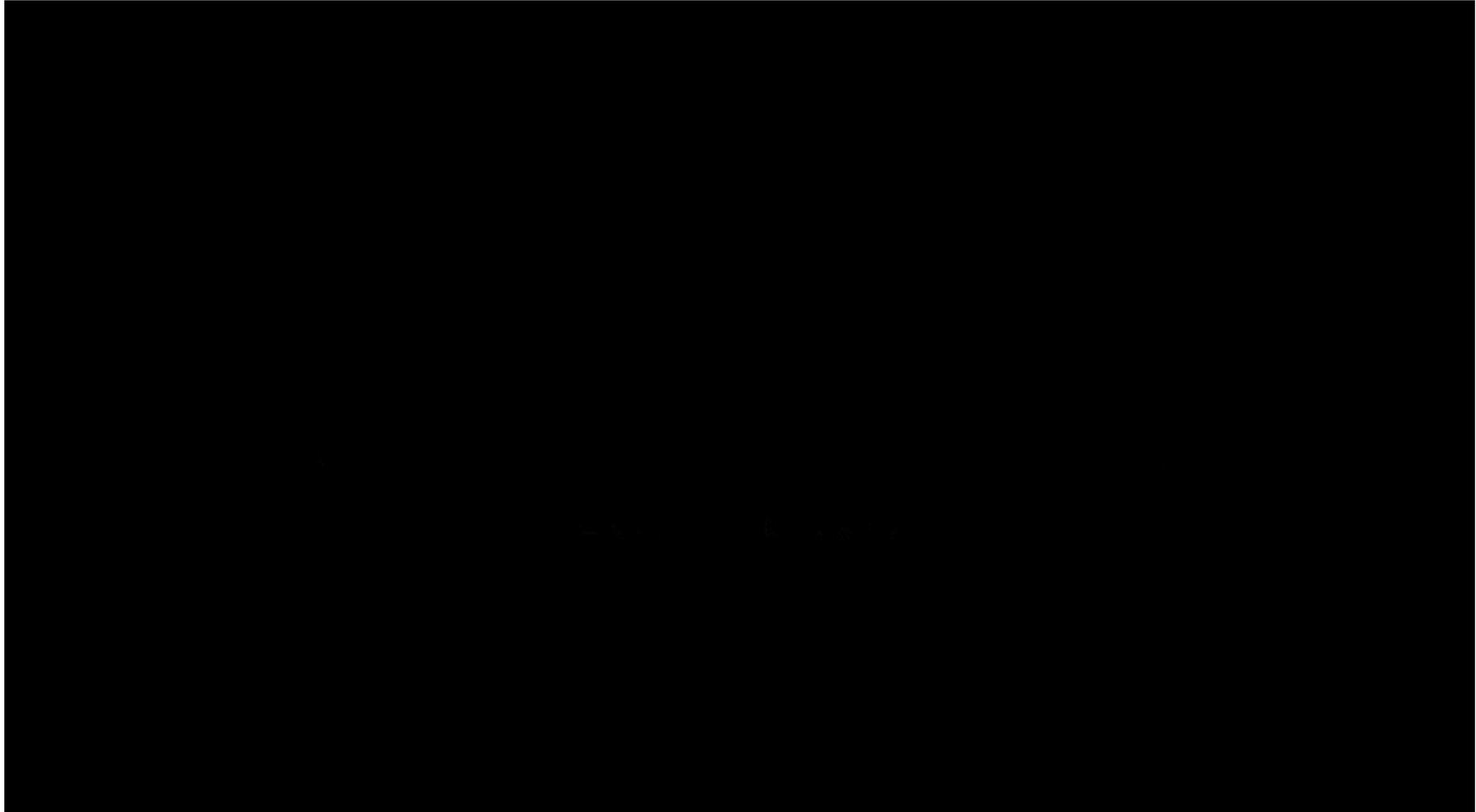
Deaths per year in USA (mean values)



El diseño a fuego  
es importante

## INTRODUCCIÓN

### FASES DE UN INCENDIO



## INTRODUCCIÓN

### FASES DE UN INCENDIO

#### FASE 1ª. DESARROLLO INICIAL DEL INCENDIO



COMPORTAMIENTO COMO MATERIAL



**REACCIÓN AL FUEGO**

INDICE DE LA CAPACIDAD DEL MATERIAL PARA FAVORECER EL DESARROLLO DEL INCENDIO

#### FASE 2ª. CONTINUIDAD DEL INCENDIO



COMPORTAMIENTO COMO ELEMENTO CONSTRUCTIVO



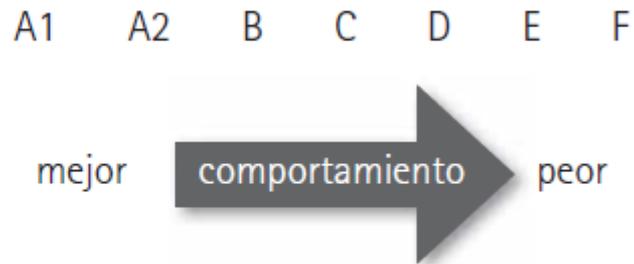
**RESISTENCIA AL FUEGO**

TIEMPO DURANTE EL CUAL EL ELEMENTO CONSTRUCTIVO ES CAPAZ DE SEGUIR CUMPLIENDO SU FUNCIÓN EN UNA SITUACIÓN DE INCENDIO

## INTRODUCCIÓN

## REACCIÓN AL FUEGO

Índice de la capacidad del material para favorecer el desarrollo del incendio



Fdez.-Golfín et al., 2010

*Figura 3.1. Clasificación general de reacción al fuego*

## CLASES DE REACCIÓN AL FUEGO (EN 13501)

Índice de inflamabilidad del material y su contribución al fuego

## INTRODUCCIÓN

## REACCIÓN AL FUEGO

## CLASES DE REACCIÓN AL FUEGO

(R.D.312/2005 , R.D. 110/2008)

Producto	Detalle del producto	Densidad media mínima <sup>(2)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor mínimo (mm)	Clase
Madera estructural	Madera estructural graduada de manera visual o mecánica con secciones transversales rectangulares realizadas con sierra, cepillo u otros métodos, o bien con secciones transversales redondas	350	22	D-s2,d0

Producto	Norma del producto	Densidad media mínima <sup>(2)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor mínimo (mm)	Clase
Madera laminada encolada	UNE-EN 14080:2006	380	40	D-s2,d0

(1) Aplicable a todas las especies y colas que entran en el ámbito de la norma del producto.

(2) Acondicionados de conformidad con la norma UNE-EN 13238:2002.

**D-s2,d0: Material combustible, con producción de humo media y producción de gases o partículas nula**

## INTRODUCCIÓN

## REACCIÓN AL FUEGO

## CLASES DE REACCIÓN AL FUEGO

(R.D.312/2005 , R.D. 110/2008)

Producto	Norma del producto	Condiciones de uso final <sup>(6)</sup>	Densidad mínima (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor mínimo (mm)	Clase (excl. los suelos)	Clase (suelos)
Tablero de partículas aglomeradas con cemento <sup>(1)</sup>	UNE-EN 634-2:2007	sin espacio de aire detrás del tablero	1000	10	B-s1,d0	B <sub>f</sub> -s1
Tablero de fibras duro <sup>(1)</sup>	UNE-EN 622-2:1997	sin espacio de aire detrás del tablero derivado de la madera	900	6	D-s2,d0	D <sub>f</sub> -s1
Tablero de fibras duro <sup>(2)</sup>	UNE-EN 622-2:1997	con espacio de aire confinado inferior o igual a 22 mm detrás del tablero derivado de la madera	900	6	D-s2,d2	-
Tablero de partículas <sup>(1) (2) (5)</sup>	UNE-EN 312:2004	sin espacio de aire detrás del tablero derivado de la madera	600	9	D-s2,d0	D <sub>f</sub> -s1
Tablero de fibras, duro y semiduro <sup>(1) (2) (5)</sup>	UNE-EN 622-2:1997 UNE-EN 622-3:1997					
MDF <sup>(1) (2) (5)</sup>	UNE-EN 622-5:1997					
OSB <sup>(1) (2) (5)</sup>	UNE-EN 300:1997					
Tablero contrachapado <sup>(1) (2) (5)</sup>	UNE-EN 636:2004	"-"	400	9	D-s2,d0	D <sub>f</sub> -s1
Tablero de madera maciza <sup>(1) (2) (5)</sup>	UNE-EN 13353:2003			12		

## INTRODUCCIÓN

## REACCIÓN AL FUEGO

## CLASES DE REACCIÓN AL FUEGO

(R.D.312/2005 , R.D. 110/2008)

	<i>CE conformity marking, consisting of the "CE"-symbol given in Directive 93/68/EEC.</i>
1070	<i>Identification number of the FPC certification body</i>
Sawmill Ltd. 0001 Sawmill Town 06	<i>Producer identification</i>
1070-CPD-000	<i>Last two digits of the year in which the marking was affixed</i>
EN 14081-1	<i>FPC Certificate number</i>
Structural timber (T2)      Dry graded	<i>No. of European standard</i>
Species code      PCAB	<i>Description of product</i>
Grading standard      INSTA 142	<i>and</i>
Reaction to fire <b>D-s2, d0</b>	<i>information on regulated characteristics</i>
Durability class      4	


  
 marcado

### INTRODUCCIÓN

#### RESISTENCIA FUEGO

Tiempo durante el cual el elemento constructivo es capaz de seguir cumpliendo su función en una situación de incendio

## INTRODUCCIÓN

## RESISTENCIA FUEGO

## CRITERIOS A CUMPLIR

Resistencia mecánica

**R****<t**

Capacidad de un elemento de soportar la exposición al fuego durante un tiempo "t" (10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 o 360 min) sin pérdida de estabilidad estructural

Aislamiento

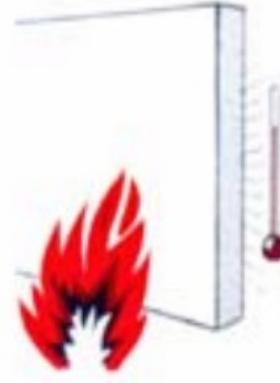
**I** $S_{ne} < 140K$ 

Superficie no expuesta presenta una  $T^a < 140K$

Integridad

**E**

Frangi, 2012

**Load-bearing R****Integrity E****Insulation I**

## INTRODUCCIÓN

## RESISTENCIA FUEGO

## CRITERIOS A CUMPLIR

Resistencia mecánica

**R**

Aislamiento

**I**

Integridad

**E**

## FUNCIONES Y CRITERIOS A CUMPLIR

Función portante

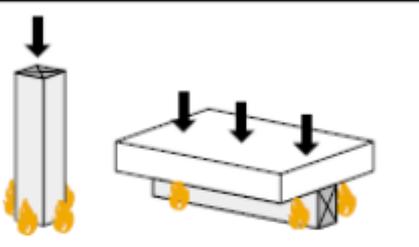
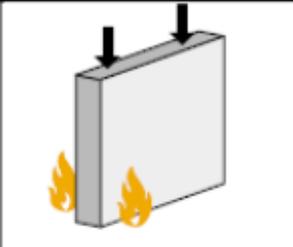
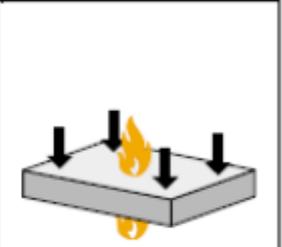
**R**

Función separación

**E (I)**

Función separación y portante

**R,E (I)**

		Fire exposure	Columns / beams	Walls	Floors
<b>R</b>	<b>Load-bearing elements without separating function</b>	<b>On all sides</b>			

Frangi, 2012

## INTRODUCCIÓN

**RESISTENCIA MECÁNICA AL FUEGO**

**FUNCIÓN PORTANTE**

**R**

Capacidad de un elemento de soportar la exposición al fuego durante un tiempo "t" (10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 o 360 min) sin pérdida de estabilidad estructural

**EXIGENCIAS DE RESISTENCIA AL FUEGO EN FUNCIÓN DEL USO DE LA EDIFICACIÓN**

**¿Uruguay?**

## INTRODUCCIÓN

## RESISTENCIA MECÁNICA AL FUEGO

## FUNCIÓN PORTANTE

**R** Capacidad de un elemento de soportar la exposición al fuego durante un tiempo "t" (10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ó 360 min) sin pérdida de estabilidad estructural

## EXIGENCIAS DE RESISTENCIA AL FUEGO EN FUNCIÓN DEL USO DE LA EDIFICACIÓN

## CTE-DB-SI. Exigencias de resistencia al fuego de los elementos estructurales en España para cualquier material

Tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

Uso del sector de incendio considerado <sup>(1)</sup>	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		≤15 m	≤28 m	>28 m
Vivienda unifamiliar <sup>(2)</sup>	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 <sup>(3)</sup>	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 <sup>(4)</sup>		

<sup>(1)</sup> La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa sectores de incendio es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un sector de incendios, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la resistencia al fuego suficiente R que se exija para el uso de dicho sector

<sup>(2)</sup> En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

<sup>(3)</sup> R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

<sup>(4)</sup> R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

CTE-DB-SI, 2009

## INTRODUCCIÓN

## RESISTENCIA AL FUEGO

## CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMIENTO

**R**

Capacidad de un elemento de soportar la exposición al fuego durante un tiempo "t" (10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ó 360 min) sin pérdida de estabilidad estructural

## EXIGENCIAS DE RESISTENCIA AL FUEGO EN FUNCIÓN DEL USO DE LA EDIFICACIÓN

## CTE-DB-SI. Exigencias de resistencia al fuego de los elementos estructurales en España

**Tabla 3.2 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales de zonas de riesgo especial integradas en los edificios <sup>(1)</sup>**

CTE-DB-SI,2009

Riesgo especial bajo	R 90
Riesgo especial medio	R 120
Riesgo especial alto	R 180

<sup>(1)</sup> No será inferior al de la estructura portante de la planta del edificio excepto cuando la zona se encuentre bajo una cubierta no prevista para evacuación y cuyo fallo no suponga riesgo para la estabilidad de otras plantas ni para la compartimentación contra incendios, en cuyo caso puede ser R 30.

La *resistencia al fuego* suficiente R de los elementos estructurales de un suelo de una zona de riesgo especial es función del uso del espacio existente bajo dicho suelo.

## INTRODUCCIÓN

## RESISTENCIA AL FUEGO

## CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMIENTO

R

Capacidad de un elemento de soportar la exposición al fuego durante un tiempo "t" (10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ó 360 min) sin pérdida de estabilidad estructural

## EXIGENCIAS DE RESISTENCIA AL FUEGO EN FUNCIÓN DEL USO DE LA EDIFICACIÓN

## CTE-DB-SI. Exigencias de resistencia al fuego de los elementos estructurales en España

La estructura principal de las cubiertas ligeras no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser **R 30** cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o *establecimientos* próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los *sectores de incendio*. A tales efectos, puede entenderse como ligera aquella cubierta cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no exceda de **1 kN/m<sup>2</sup>**

## INTRODUCCIÓN

## RESISTENCIA AL FUEGO

## CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMIENTO

R

Capacidad de un elemento de soportar la exposición al fuego durante un tiempo "t" (10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ó 360 min) sin pérdida de estabilidad estructural

## EXIGENCIAS DE RESISTENCIA AL FUEGO EN FUNCIÓN DEL USO DE LA EDIFICACIÓN

## CTE-DB-SI. Exigencias de resistencia al fuego de los elementos estructurales en España

La estructura principal de las cubiertas ligeras no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser **R 30** cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o *establecimientos* próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los *sectores de incendio*. A tales efectos, puede entenderse como ligera aquella cubierta cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no exceda de **1 kN/m<sup>2</sup>**.

Proyecto del curso: se puede considerar que es una **cubierta ligera**

1. Introducción

2. Carbonización de la madera

3. Valores de cálculo y combinación de acciones

4. Cálculo de la resistencia mecánica frente al  
fuego: método de la sección eficaz

5. Protección

6. Uniones

## 7.8. Comprobación a fuego

## COMPORTAMIENTO DE LA MADERA

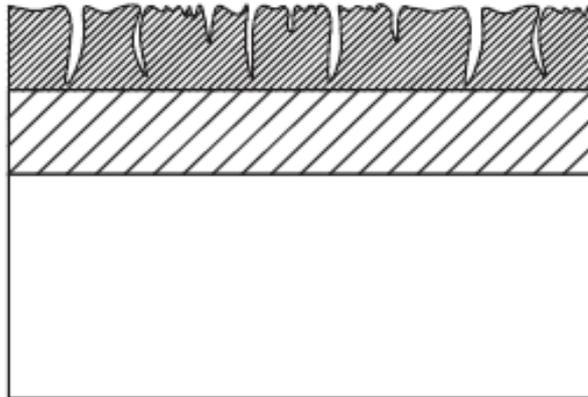
## COMPORTAMIENTO DE LA MADERA FRENTE AL FUEGO



TEMPERATURA (INCENDIO)

PÉRDIDA DE RESISTENCIA **SUPERFICIAL**

Combustión rápida en la superficie ( $400^{\circ}\text{C}$  sin llama y  $300^{\circ}\text{C}$  con llama)



Zona carbonizada



6 veces más aislante que la madera

Zona de pirólisis



Protección de las propiedades físico-mecánicas del interior

Zona intacta

**PÉRDIDA DE LA CAPACIDAD PORTANTE:  
DEBIDA A LA REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN**

Fdez.-Golfín et al., 2010

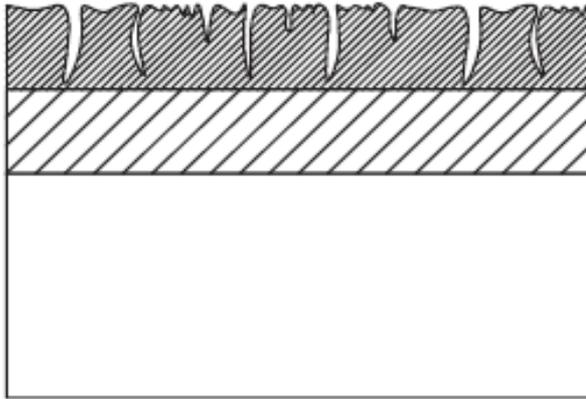
Sin la presencia de llama, la madera necesita una temperatura en la superficie superior a  $400^{\circ}\text{C}$  para comenzar a arder en un plazo de tiempo medio o corto. Incluso con la presencia de llama se necesitaría una temperatura en superficie de unos  $300^{\circ}\text{C}$ , durante un cierto tiempo antes de que se produzca la ignición.

Argüelles et al. 2000

## COMPORTAMIENTO DE LA MADERA

### COMPORTAMIENTO DE LA MADERA FRENTE AL FUEGO

Combustión rápida en la superficie (400°C sin llama y 300°C con llama)



Zona carbonizada



6 veces más aislante que la madera

Zona de pirólisis



Protección de las propiedades físico-mecánicas del interior

Zona intacta

**PÉRDIDA DE LA CAPACIDAD PORTANTE:  
DEBIDA A LA REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN**

Fdez.-Golfín et al., 2010

### FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMBUSTIBILIDAD DE LAS PIEZAS DE MADERA



SUPERFICIE / VOLUMEN

Ej. Pequeña escuadría, aristas vivas



FENDAS

Ej. Madera aserrada



DENSIDAD

Ej. Mayoría de coníferas



CONTENIDO HUMEDAD

No se considera en el cálculo, por estar habitualmente entre el 8-15%



Más fácil ignición y mayor velocidad propagación

## CARBONIZACIÓN REAL DE LA MADERA

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $d_{char,o}$ 

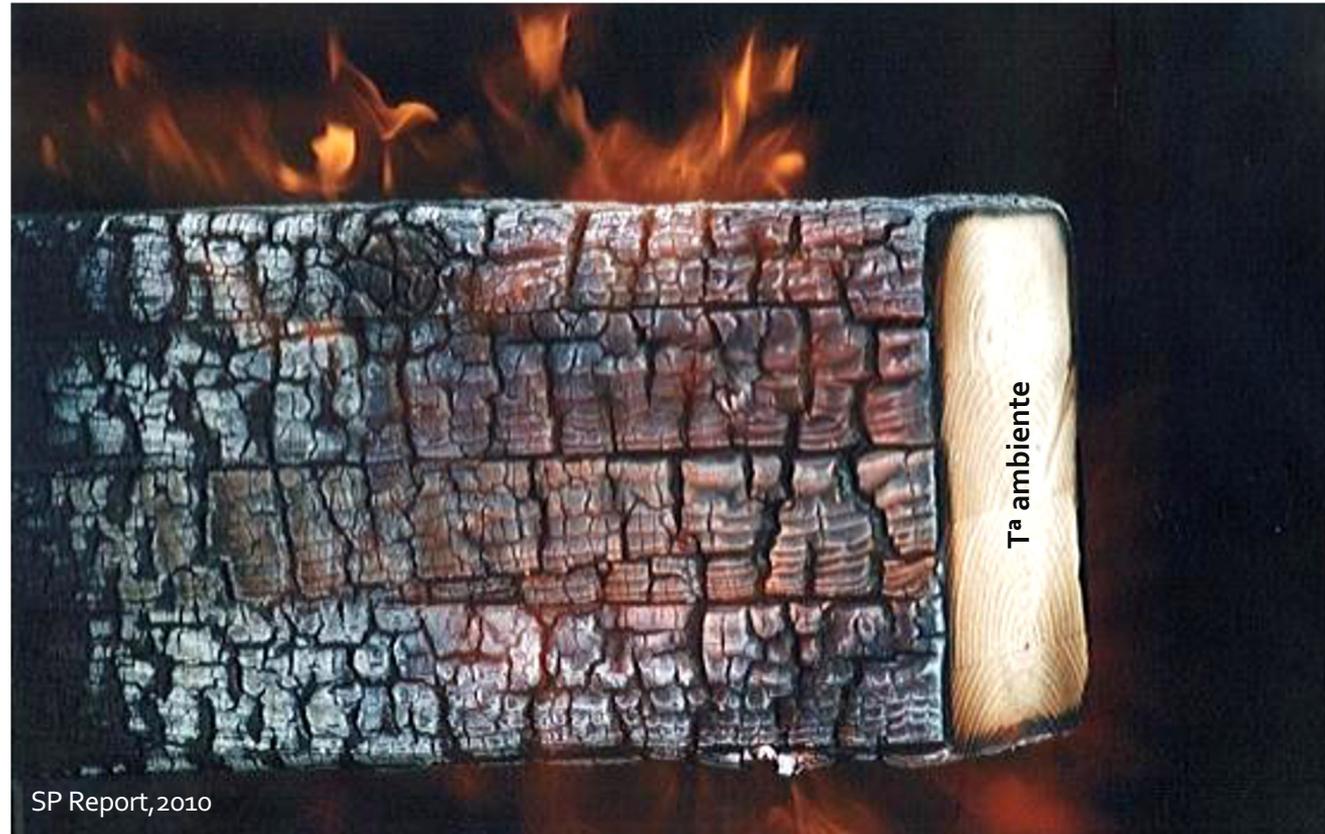
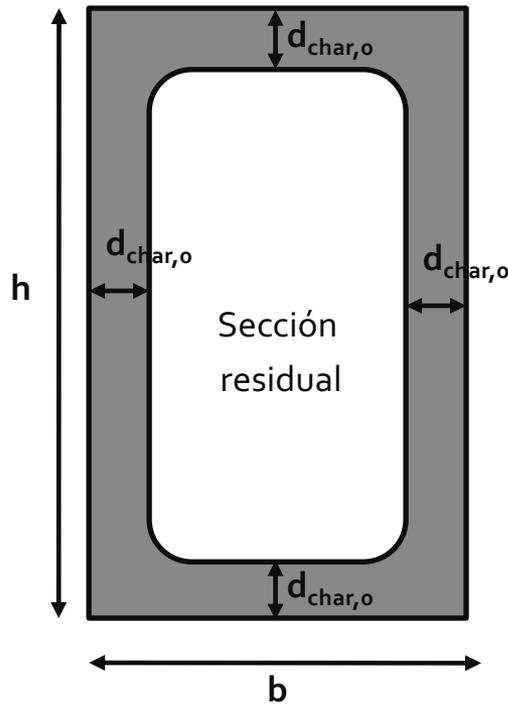
$$d_{char,o} = \beta_o \cdot t$$



REDONDEO DE ARISTAS

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $\beta_o$ 

CONSTANTE



SP Report. 2010. "Fire safety in timber buildings". Technical guideline for Europe. [http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire\\_Timber\\_Ch\\_5-7.pdf](http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire_Timber_Ch_5-7.pdf)  
 EN 1995-1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego

## CARBONIZACIÓN REAL DE LA MADERA

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $d_{char,o}$ 

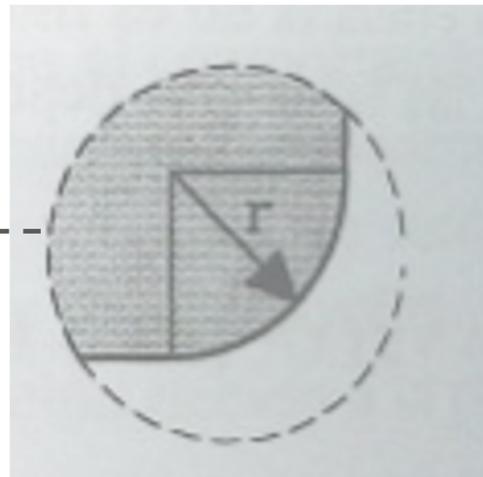
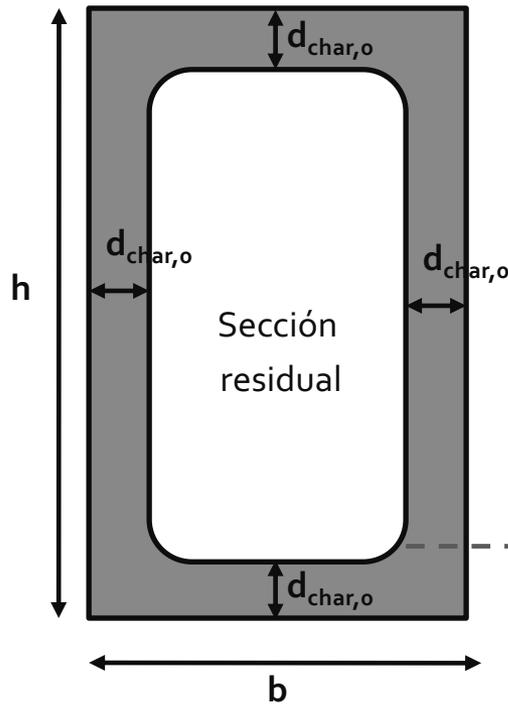
$$d_{char,o} = \beta_o \cdot t$$



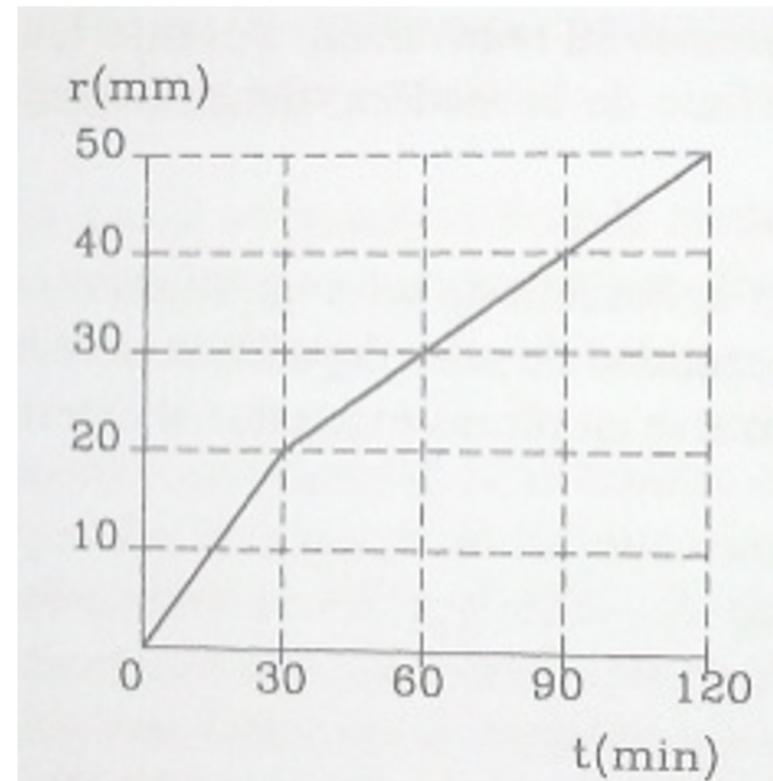
REDONDEO DE ARISTAS

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $\beta_o$ 

CONSTANTE



Argüelles y Arriaga, 2000



Argüelles y Arriaga, 2000

# CARBONIZACIÓN DE LA MADERA: SIMPLIFICACIÓN

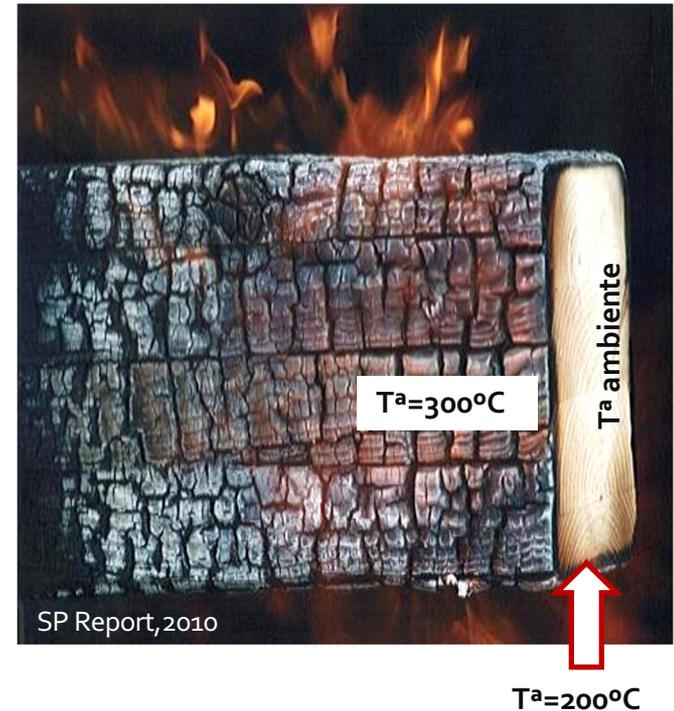
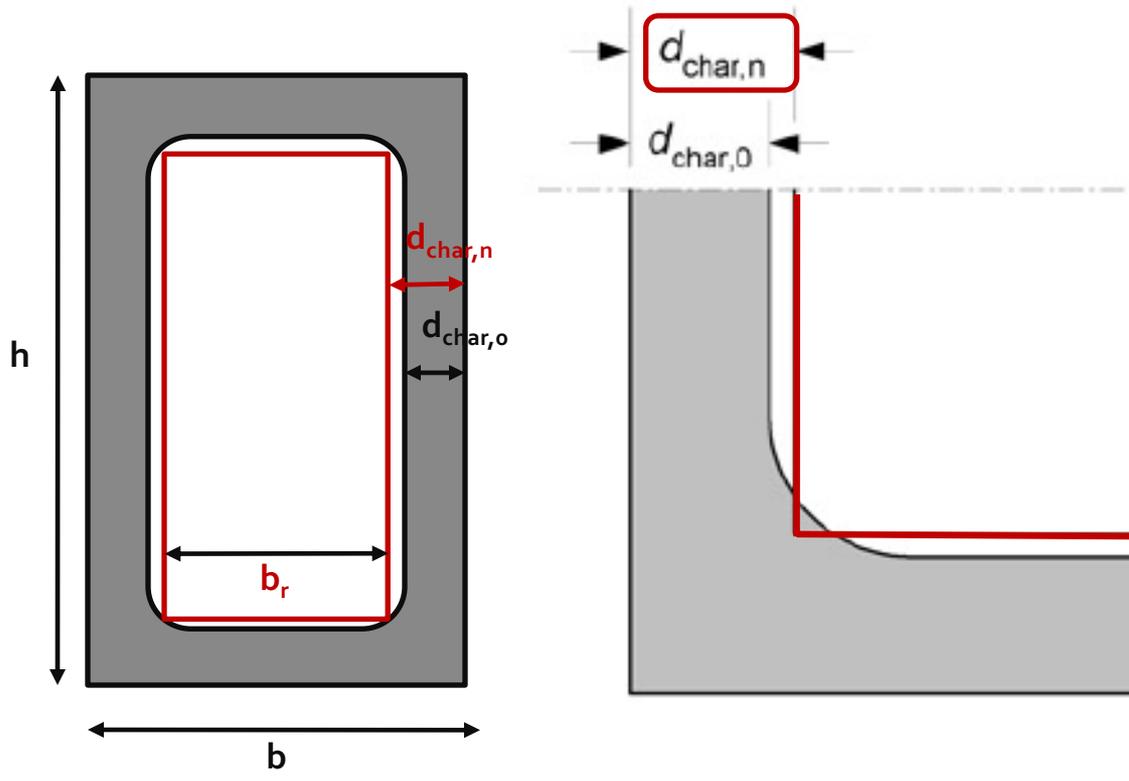
PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

Sin considerar el redondeo de las aristas

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$

CONSTANTE



## CARBONIZACIÓN DE LA MADERA: SIMPLIFICACIÓN

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$ 

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

Sin considerar el redondeo de las aristas

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$ 

CONSTANTE

Table 3.1 – Design charring rates  $\beta_0$  and  $\beta_n$  of timber, LVL, wood panelling and wood-based panels

	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
<b>a) Softwood and beech</b> (haya) Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,65	0,7 0,8
<b>b) Hardwood</b> Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $290 \text{ kg/m}^3$ Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,50	0,7 0,55
<b>c) LVL</b> with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
<b>d) Panels</b> Wood panelling Plywood Wood-based panels other than plywood	0,9 <sup>a</sup> 1,0 <sup>a</sup> 0,9 <sup>a</sup>	– – –
<sup>a</sup> The values apply to a characteristic density of $450 \text{ kg/m}^3$ and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(9) for other thicknesses and densities.		

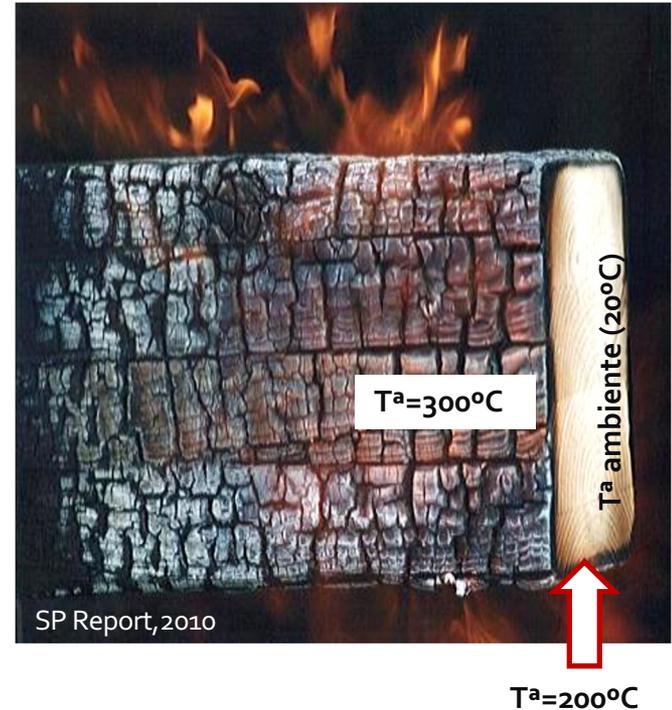
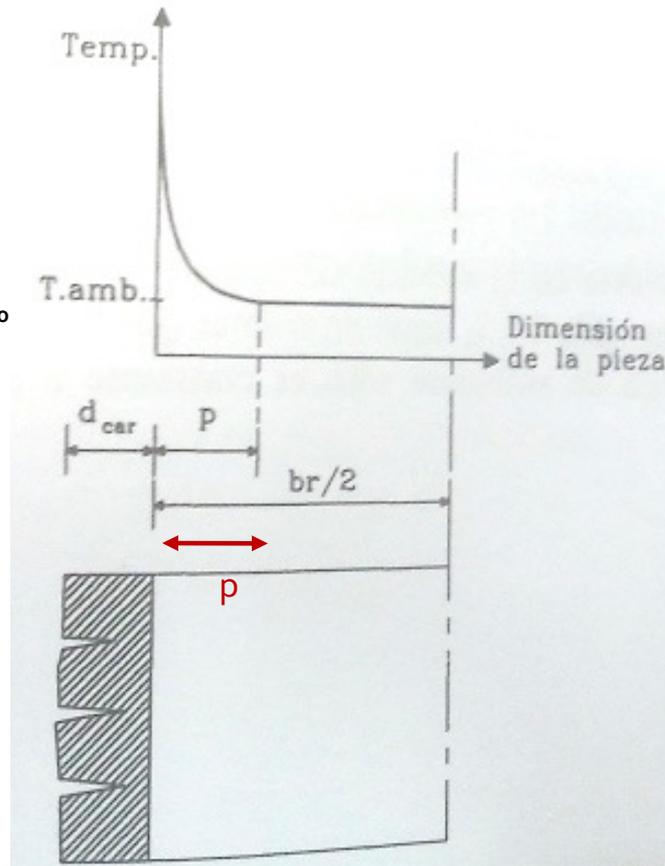
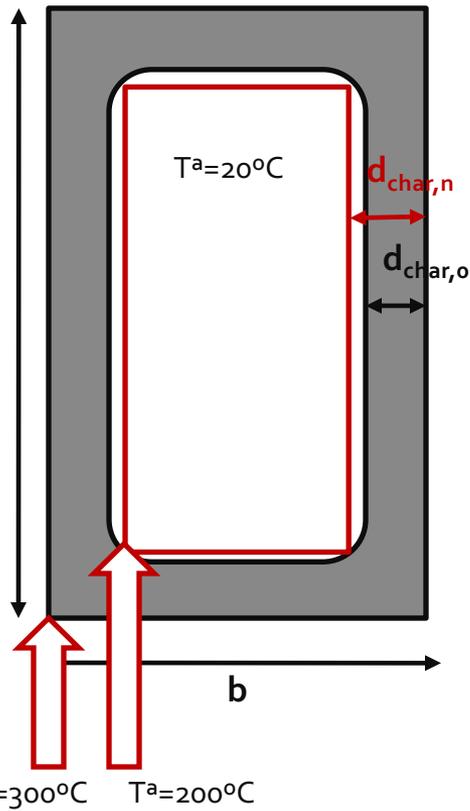
## CARBONIZACIÓN DE LA MADERA

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$ 

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$ 

CONSTANTE



SP Report, 2010

Argüelles y Arriaga, 2000

Argüelles, R. y Arriaga, F. (2000). "Estructuras de madera. Diseño y cálculo". AITIM. Madrid

EN 1995-1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego

## CARBONIZACIÓN DE LA MADERA

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$ 

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$ 

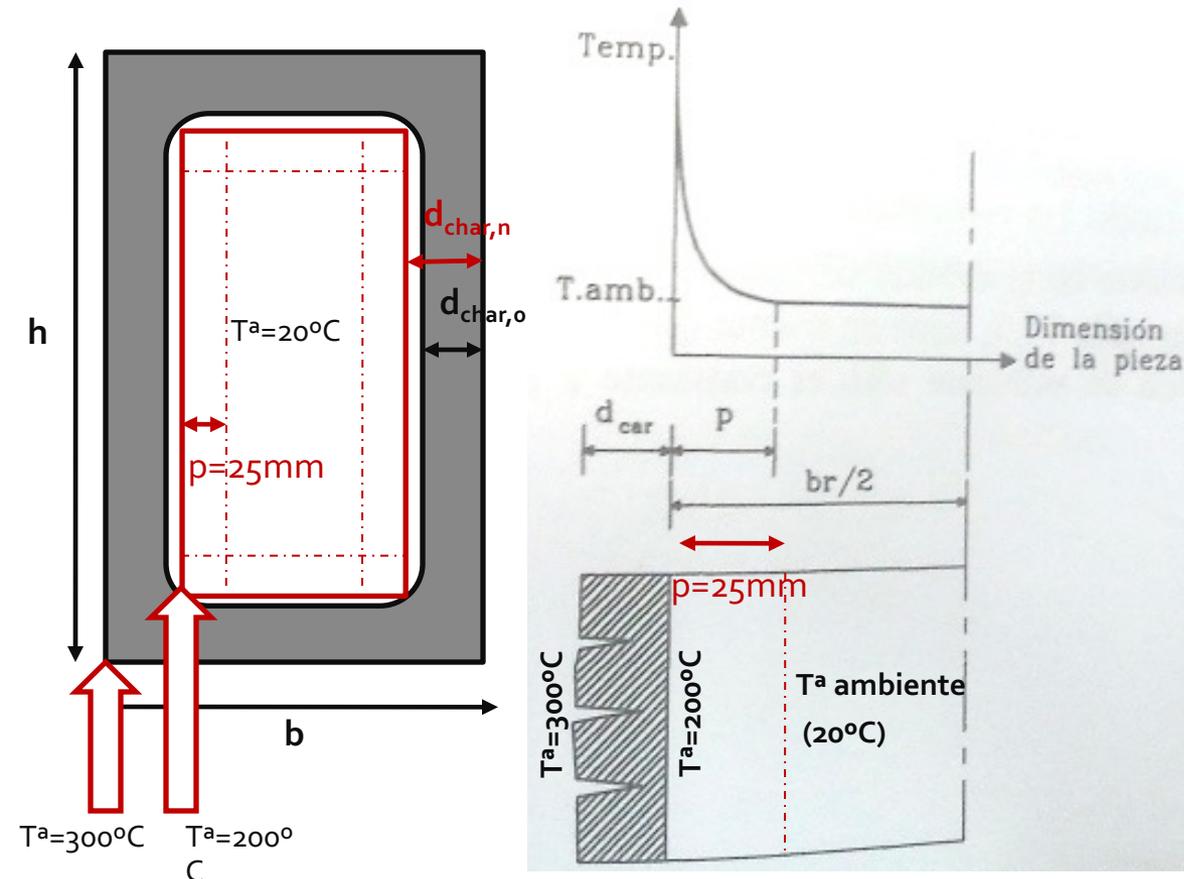
CONSTANTE

Exposición al fuego &gt; 20min

Cuando la exposición al fuego es superior a 20 min, la distancia "p", donde se encuentra la  $T^a$  ambiente, es constante.

$p = 25 \text{ mm}$  desde  $d_{char,n}$

$p = 30 \text{ mm}$  desde  $d_{char,o}$



Argüelles y Arriaga, 2000

Argüelles, R. y Arriaga, F. (2000). "Estructuras de madera. Diseño y cálculo". AITIM. Madrid

EN 1995-1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego

## CARBONIZACIÓN REAL DE LA MADERA

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $d_{char,o}$ 

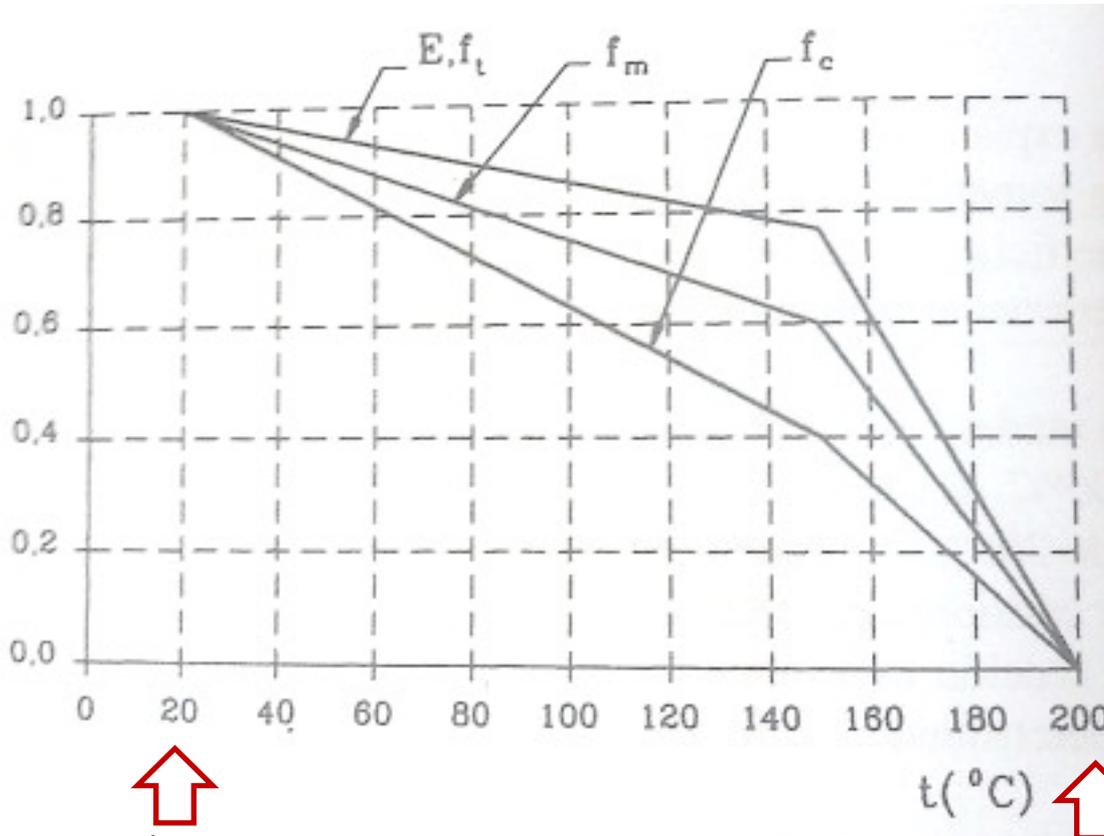
$$d_{char,o} = \beta_o \cdot t$$



REDONDEO DE ARISTAS

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $\beta_o$ 

CONSTANTE

 $T^a$ 

Prop. mecán.

E: módulo de elasticidad

 $f_m$ : resistencia a flexión $f_t$ : resistencia a tracción paralela $f_c$ : resistencia a compresión paralela a la fibra $T^a$  ambiente $T^a$  línea carbonización

Argüelles, R. y Arriaga, F. (2000). "Estructuras de madera. Diseño y cálculo". AITIM. Madrid

EN 1995:1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego

## CARBONIZACIÓN REAL DE LA MADERA: SIMPLIFICACIÓN

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $d_{char,o}$ 

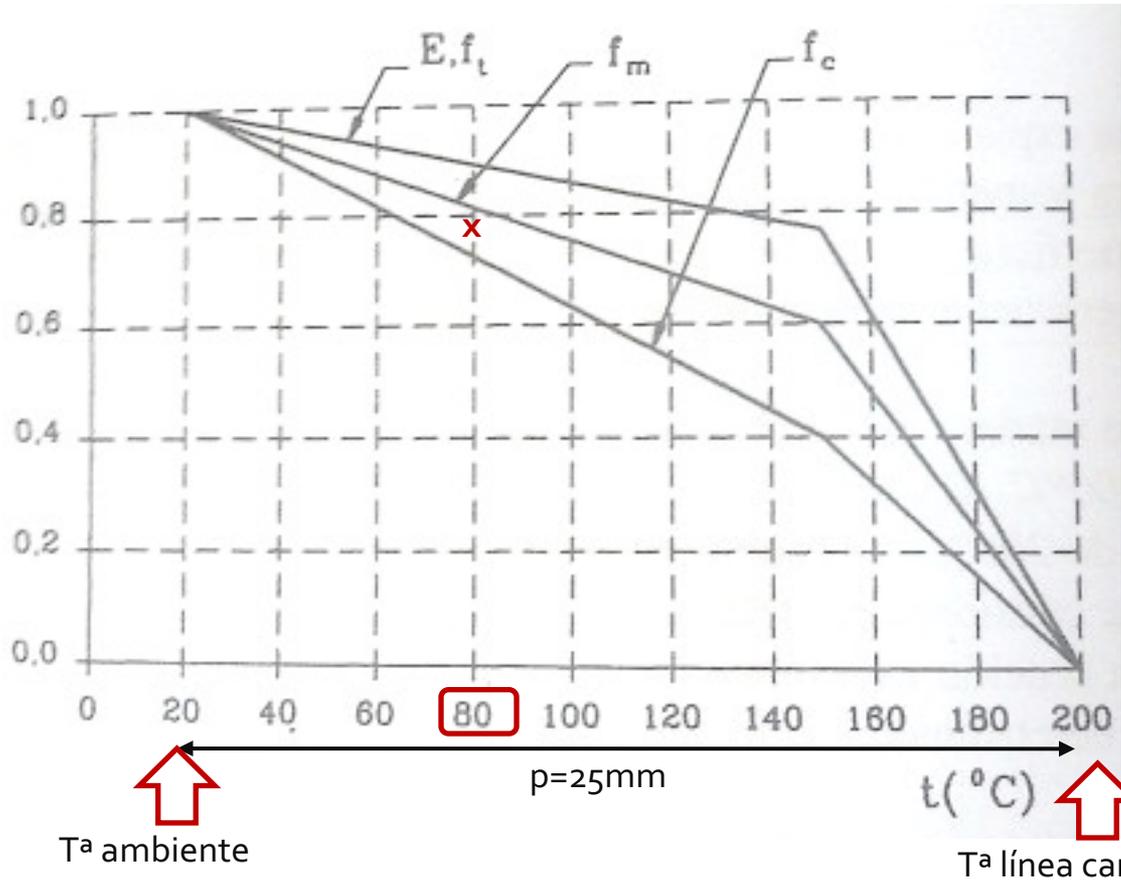
$$d_{char,o} = \beta_o \cdot t$$



REDONDEO DE ARISTAS

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $\beta_o$ 

CONSTANTE



Exposición al fuego &gt; 20min

Para una  $T^a$  media de  $80^{\circ}\text{C}$  en el tramo de profundidad  $p$  ( $=25\text{mm}$ ), la resistencia (media entre la de flexión y de compresión) se reduce un 70% aprox.



El efecto de la  $T^a$  en las propiedades mecánicas de una sección puede sustituirse descontando un 30% del valor de  $p$  ( $=25\text{mm}$ ). Esto es,  $d_o = 7\text{mm}$

Argüelles, R. y Arriaga, F. (2000). "Estructuras de madera. Diseño y cálculo". AITIM. Madrid

EN 1995-1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego

## CARBONIZACIÓN REAL DE LA MADERA: SIMPLIFICACIÓN

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $d_{char,o}$ 

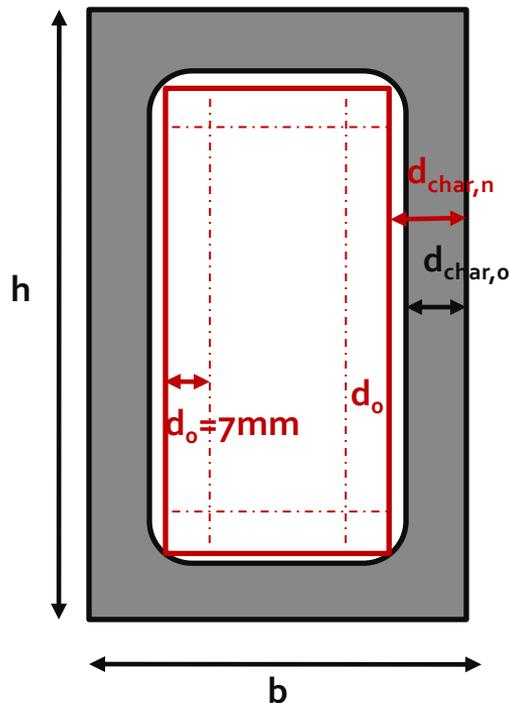
$$d_{char,o} = \beta_o \cdot t$$



REDONDEO DE ARISTAS

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN,  $\beta_o$ 

CONSTANTE



Exposición al fuego &gt; 20min

Para  $80^\circ\text{C}$ , la resistencia media entre la de flexión y compresión se reduce un 70% aprox.



El efecto de la  $T^a$  en las propiedades mecánicas de una sección puede sustituirse descontando un 30% del valor de  $p$  ( $=25\text{mm}$ ). Esto es,  $d_o = 7\text{mm}$



Método sección eficaz

CARBONIZACIÓN: SIMPLIFICACIÓN EC<sub>5</sub>PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$ 

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

Sin considerar el redondeo de las aristas

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$ 

CONSTANTE

TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL FUEGO,  $t$ 

R

RESISTENCIA AL FUEGO

## EXIGENCIAS DE RESISTENCIA A FUEGO EN ESPAÑA (CTE-DB-SI)

Tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

Uso del sector de incendio considerado <sup>(1)</sup>	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		≤15 m	≤28 m	>28 m
Vivienda unifamiliar <sup>(2)</sup>	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 <sup>(3)</sup>	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 <sup>(4)</sup>		

<sup>(1)</sup> La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa sectores de incendio es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un sector de incendios, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la resistencia al fuego suficiente R que se exija para el uso de dicho sector

<sup>(2)</sup> En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

<sup>(3)</sup> R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

<sup>(4)</sup> R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

CTE-DB-SI,2009

# CARBONIZACIÓN: ejemplo vigueta forjado

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$

**Table 3.1 – Design charring rates  $\beta_0$  and  $\beta_n$  of timber, LVL, wood panelling and wood-based panels**

	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
<b>a) Softwood and beech(haya)</b> Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,65	0,7 0,8
<b>b) Hardwood</b> Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $290 \text{ kg/m}^3$ Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,50	0,7 0,55

**Tabla A.1 – Valores característicos de las propiedades de la madera estructural de eucalyptus grandis clasificada visualmente como EF1**

Propiedad	Valor característico EF1
Resistencia característica a flexión (5º percentil), $f_{m,k}$ (MPa)	21,4
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (MPa)	11960
Densidad media, $\rho_{mean}$ (kg/m <sup>3</sup> )	519
Densidad característica (5º percentil), $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	386

		Coníferas y chopo			
		C14	C16	C18	C20
Propiedades de resistencia (en N/mm <sup>2</sup> )					
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20
Tracción paralela a la fibra	$f_{t0,k}$	8	10	11	12
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela a la fibra	$f_{c0,k}$	16	17	18	19
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3
Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6
Propiedades de rigidez (en kN/mm <sup>2</sup> )					
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32
Módulo medio de cortante	$G_{medio}$	0,44	0,5	0,56	0,59
Densidad (en kg/m <sup>3</sup> )					
Densidad	$\rho_k$	290	310	320	330
Densidad media	$\rho_{medio}$	350	370	380	390



# CARBONIZACIÓN: ejemplo vigueta forjado

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$

$$\beta_0 = 0.8$$

**Table 3.1 – Design charring rates  $\beta_0$  and  $\beta_n$  of timber, LVL, wood panelling and wood-based panels**

	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
<b>a) Softwood and beech(haya)</b>		
Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
<b>b) Hardwood</b>		
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55

**Tabla A.1 – Valores característicos de las propiedades de la madera estructural de eucalyptus grandis clasificada visualmente como EF1**

Propiedad	Valor característico EF1
Resistencia característica a flexión (5º percentil), $f_{m,k}$ (MPa)	21,4
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (MPa)	11960
Densidad media, $\rho_{mean}$ (kg/m <sup>3</sup> )	519
Densidad característica (5º percentil), $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	386

		Coníferas y chopo			
		C14	C16	C18	C20
Propiedades de resistencia (en N/mm <sup>2</sup> )					
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20
Tracción paralela a la fibra	$f_{t0,k}$	8	10	11	12
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela a la fibra	$f_{c0,k}$	16	17	18	19
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3
Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6
Propiedades de rigidez (en kN/mm <sup>2</sup> )					
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32
Módulo medio de cortante	$G_{medio}$	0,44	0,5	0,56	0,59
Densidad (en kg/m <sup>3</sup> )					
Densidad	$\rho_k$	290	310	320	330
Densidad media	$\rho_{medio}$	350	370	380	390



## CARBONIZACIÓN: ejemplo vigueta forjado

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$ 

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$ 

$$\beta_n = 0.8$$

TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL FUEGO,  $t$ 

$$t = 30 \text{ min}$$

Tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

Uso del sector de incendio considerado <sup>(1)</sup>	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		≤15 m	≤28 m	>28 m
Vivienda unifamiliar <sup>(2)</sup>	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 <sup>(3)</sup>	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 <sup>(4)</sup>		

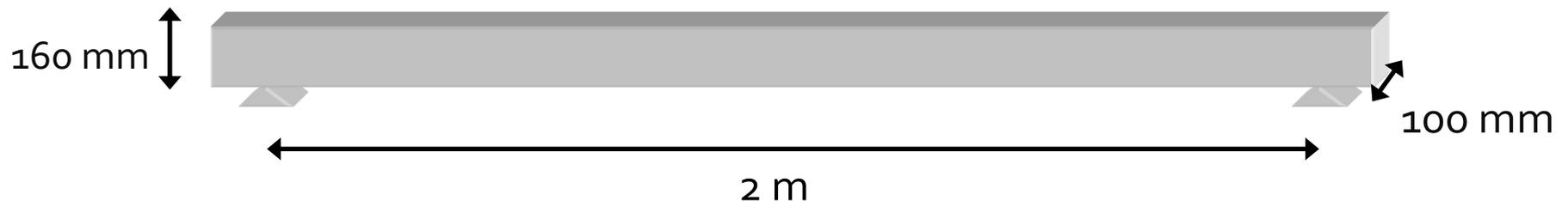
<sup>(1)</sup> La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa sectores de incendio es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un sector de incendios, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la resistencia al fuego suficiente R que se exija para el uso de dicho sector

<sup>(2)</sup> En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

<sup>(3)</sup> R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

<sup>(4)</sup> R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

CTE-DB-SI, 2009



## CARBONIZACIÓN: ejemplo vigueta forjado

PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $d_{char,n}$ 

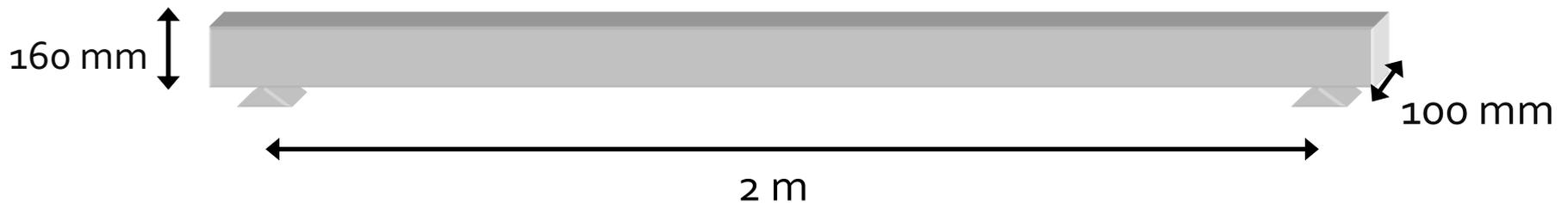
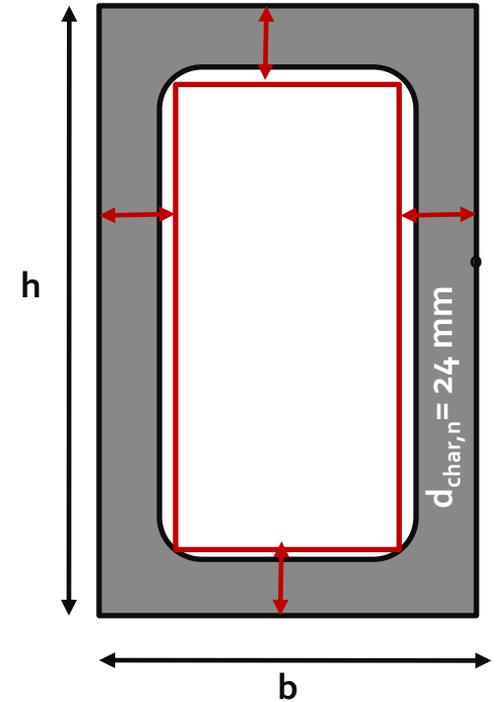
$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0.8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

VELOCIDAD DE CARBONIZACIÓN FICTICIA,  $\beta_n$ 

$$\beta_n = 0.8$$

TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL FUEGO,  $t$ 

$$t = 30 \text{ min}$$



1. Introducción
2. Carbonización de la madera
3. Valores de cálculo y combinación de acciones
4. Cálculo de la resistencia mecánica frente al  
fuego: método de la sección eficaz
5. Protección
6. Uniones

## 7.8. Comprobación a fuego

## COMBINACIÓN DE ACCIONES EN CASO DE INCENDIO (EUROCÓDIGO 1)

- Situaciones accidentales:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_A A_k + \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$G_k$  y  $Q_k$  : representan las acciones permanentes y las variables, respectivamente.

$\gamma_{Gk}$  : coeficiente de seguridad ( $\gamma_{Gk} = 1$ ).

$\Psi$  : valor de combinación que depende del tipo de acción (ver anexo I Acciones).

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ )

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

$$\gamma_{\text{incendio}} = 1$$

## COMBINACIÓN DE ACCIONES EN CASO DE INCENDIO: ejemplo vigueta forjado

- Situaciones accidentales:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_A A_k + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

COMBINACIÓN ACCIDENTAL DE INCENDIO EN VIVIENDAS:

Combinación fuego-1: CP+0.5U

Combinación fuego-2: CP+0.5P

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ )

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

## COMBINACIÓN DE ACCIONES EN CASO DE INCENDIO: ejemplo vigueta forjado

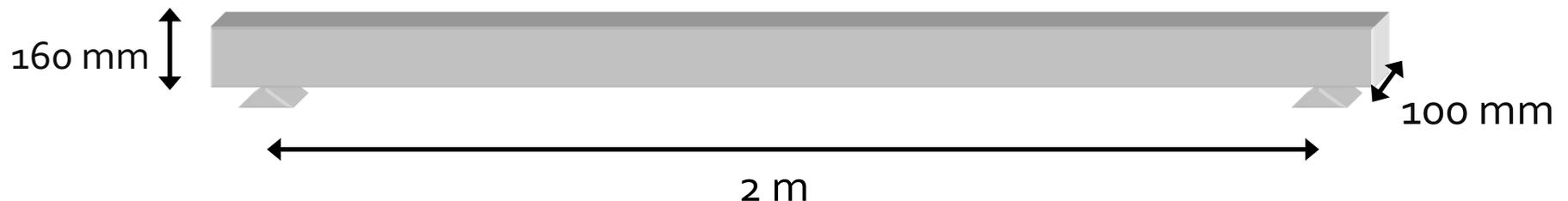
### COMBINACIÓN ACCIDENTAL DE INCENDIO EN VIVIENDAS:

Combinación 4: CP+0.5U

Combinación 5: CP+0.5P

### COMBINACIONES DE LAS CARGAS

Combinación de cargas:	CP	U	P
1 (CP)	1,35	0	0
2 (CP+U)	1,35	1,5	0
3 (CP+P)	1,35	0	1,5
4 (FUEGO-1)	1	0,5	0
5 (FUEGO-2)	1	0	0,5



## ESFUERZOS PARA COMBINACIONES EN CASO DE INCENDIO: ejemplo vigueta forjado

### HIPÓTESIS SIMPLES:

		q	p	Flector máx	Cortante máx
	Duración	kN/m	kN	My (kN·mm)	Vy kN
Carga permanente + peso propio (CP)	Permanente	0.18		91,52	0.18
Sobrecarga uso uniforme (U)	Media	1.00		500,00	1.00
Sobrecarga uso puntual (P)	Corta		2.0	1000,00	1.00

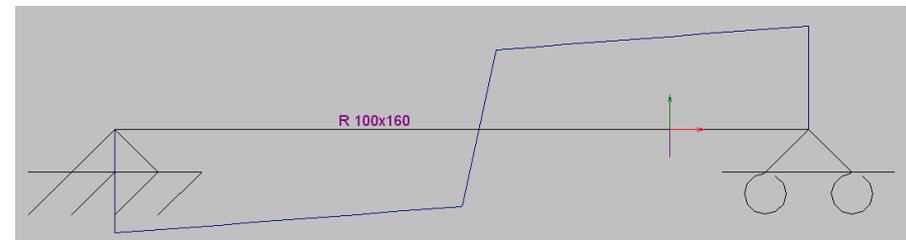
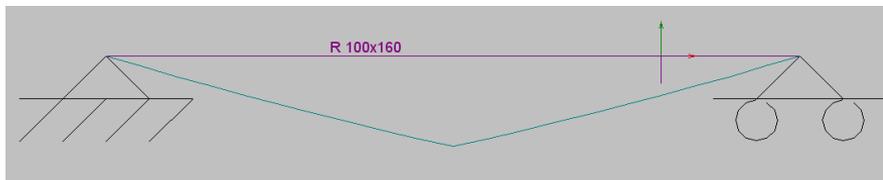
### COMBINACIONES DE ACCIONES

Combinación de cargas:	CP (0.18 kN/m)	U (1.0 kN/m)	P (2 kN)
Combinación 1 (CP)	1,35	0	0
Combinación 2 (CP+U)	1,35	1,5	0
Combinación 3 (CP+P)	1,35	0	1,5
Combinación 4 (FUEGO)	1	0,5	0
<b>Combinación 5 (FUEGO)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>

### DIAGRAMAS DE ESFUERZOS Y VALOR MÁXIMO

$$\text{FLECTOR: } M_{y,d} = 1 \cdot 91.5 + 0.5 \cdot 1000 = 591.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{CORTANTE: } V_{y,d} = 1 \cdot 0.18 + 0.5 \cdot 1.0 = 0.68 \text{ kN}$$



## VALORES DE CÁLCULO EN COMPROBACIÓN A FUEGO

DE LAS TENSIONES EN CASO DE INCENDIO ( $\sigma$ )

Debidas a los esfuerzos a los que está sometida la estructura considerando las combinaciones de acciones en caso de incendio

DE LAS RESISTENCIAS EN CASO DE INCENDIO ( $f$ )

Debidas a la resistencia a fuego de la madera

## VALORES DE CÁLCULO EN COMPROBACIÓN A FUEGO



## DE LAS RESISTENCIAS (f)

Debidas a la resistencia a fuego de la madera

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot (f_{20} / \gamma_M)$$

$f_{d,fi}$ : valor de cálculo de resistencia en caso de incendio

$f_{20}$ : percentil del 20% de una propiedad resistente a temperatura normal

$\gamma_{M,fi}$ : coeficiente parcial de la madera en caso de incendio.  $\gamma_{M,fi} = 1.00$

\* $k_{mod,fi}$ : factor de modificación en caso de incendio. Tiene en cuenta los efectos de la temperatura y del contenido de humedad en la resistencia.

\*Depende del método de cálculo empleado:

Método de la sección reducida:  $k_{mod,fi} = 1.00$

## VALORES DE CÁLCULO EN COMPROBACIÓN A FUEGO



## DE LAS RESISTENCIAS (f)

Debidas a la resistencia a fuego de la madera

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$$

$f_k$ : valor de la resistencia característica (clases resistentes)

$k_{fi}$ : coeficiente que permite transformar el valor característico de la propiedad en un valor medio

Table 2.1 — Values of  $k_{fi}$

	$k_{fi}$
Solid timber	1,25
Glued-laminated timber	1,15
Wood-based panels	1,15
LVL	1,1
Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels	1,15
Connections with fasteners in shear with side members of steel	1,05
Connections with axially loaded fasteners	1,05

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot (f_{20} / \gamma_{M})$$

$f_{d,fi}$ : valor de cálculo de resistencia en caso de incendio

$f_{20}$ : percentil del 20% de una propiedad resistente a temperatura normal

$\gamma_{M,fi}$ : coeficiente parcial de la madera en caso de incendio.  $\gamma_{M,fi} = 1.00$

\* $k_{mod,fi}$ : factor de modificación en caso de incendio. Tiene en cuenta los efectos de la temperatura y del contenido de humedad en la resistencia.

\*Depende del método de cálculo empleado:

Método de la sección reducida:  $k_{mod,fi} = 1.00$

1. Introducción
2. Carbonización de la madera
3. Valores de cálculo y combinación de acciones
4. Cálculo de la resistencia mecánica frente al  
fuego: método de la sección eficaz
5. Uniones
6. Protección

## 7.8. Comprobación a fuego

## RESISTENCIA MECÁNICA FRENTE AL FUEGO: MÉTODOS DE CÁLCULO

### 1. MÉTODO DE LA SECCIÓN REDUCIDA (sección eficaz)

Sección reducida y resistencia y rigidez no se modifican con la  $T^a$

### 2. MÉTODO DE LAS PROPIEDADES REDUCIDAS

Sección reducida y disminución de la resistencia y rigidez del material

### 3. MÉTODO GENERAL

Efecto de la  $T^a$  y contenido humedad en la sección reducida y relaciones resistencia/rigidez en las caras expuestas y protegidas

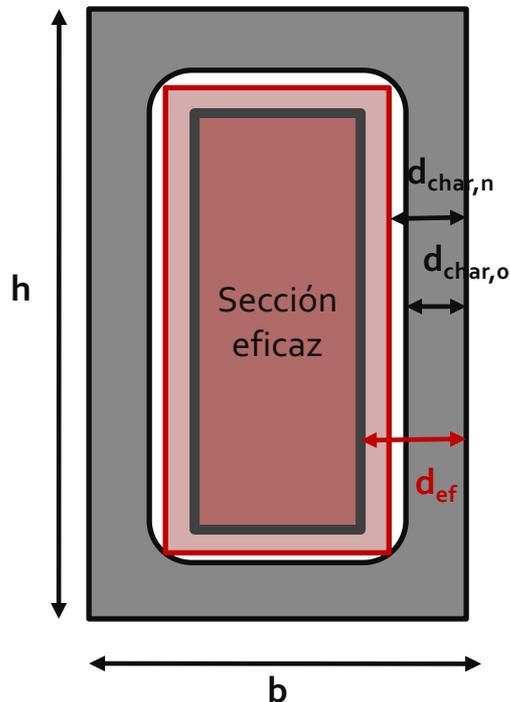
## RESISTENCIA MECÁNICA FRENTE AL FUEGO: MÉTODO DE LA SECCIÓN REDUCIDA

Cálculo de la capacidad de carga de la sección reducida, manteniendo inalteradas las propiedades de resistencia y rigidez. Dado que en la realidad sí existe pérdida de propiedades mecánicas por el efecto de la  $T^a$ , se considera una profundidad de carbonización algo mayor que la real: profundidad de carbonización eficaz ( $d_{ef}$ ).

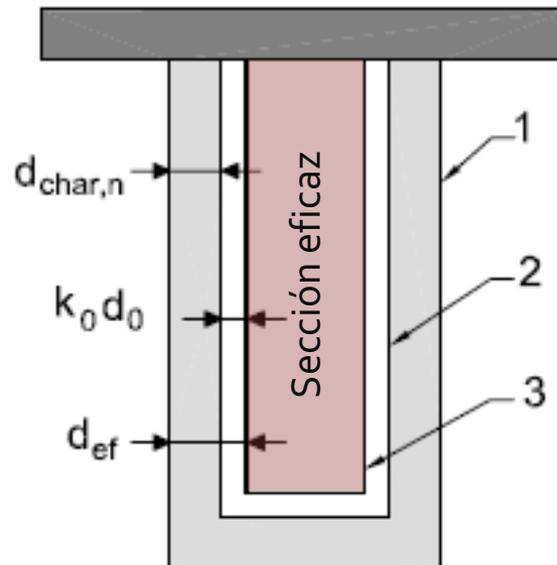
### PIEZAS DE MADERA SIN PROTECCIÓN AL FUEGO

PROFUNDIDAD EFICAZ DE CARBONIZACIÓN,  $d_{ef}$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_o \cdot d_o$$



**N caras expuestas = 3**



- 1 Superficie inicial del elemento
- 2 Límite de la sección residual
- 3 Límite de la sección eficaz

$d_o = 7\text{mm}$ . Profundidad carbonizada añadida que considera el efecto de la  $T^a$  en las propiedades mecánicas de la sección

$k_o$ : factor de corrección de la profundidad adicional para el instante inicial del incendio ( $t < 20$  minutos), pues la pérdida de resistencia se hace constante al cabo de 20 minutos

## RESISTENCIA MECÁNICA FRENTE AL FUEGO: MÉTODO DE LA SECCIÓN REDUCIDA

Cálculo de la capacidad de carga de la sección reducida, manteniendo inalteradas las propiedades de resistencia y rigidez. Dado que en la realidad sí existe pérdida de propiedades mecánicas por el efecto de la  $T^a$ , se considera una profundidad de carbonización algo mayor que la real: profundidad de carbonización eficaz ( $d_{ef}$ ).

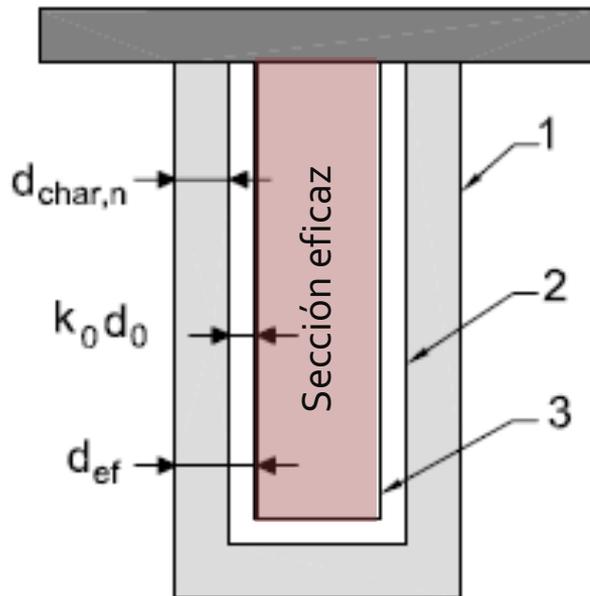
### PIEZAS DE MADERA SIN PROTECCIÓN AL FUEGO

PROFUNDIDAD EFICAZ DE CARBONIZACIÓN,  $d_{ef}$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

$$d_0 = 7\text{mm}$$

$k_0$ : factor de corrección de la profundidad adicional para el instante inicial del incendio ( $t < 20$  minutos), pues la pérdida de resistencia se hace constante al cabo de 20 minutos



- 1 Superficie inicial del elemento
- 2 Límite de la sección residual
- 3 Límite de la sección eficaz

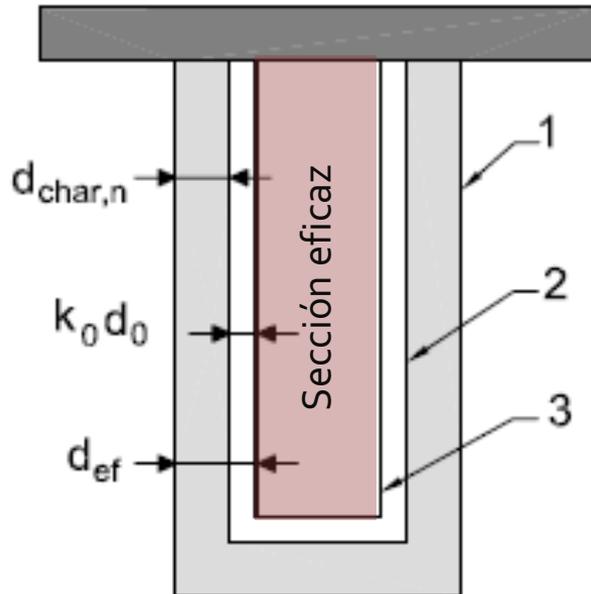
Table 4.1 — Determination of  $k_0$  for unprotected surfaces with  $t$  in minutes  
4.2a)

	$k_0$
$t < 20$ minutes	$t/20$
$t \geq 20$ minutes	1,0

## MÉTODO DE LA SECCIÓN REDUCIDA: ejemplo vigueta forjado

PROFUNDIDAD EFICAZ DE CARBONIZACIÓN,  $d_{ef}$ 

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

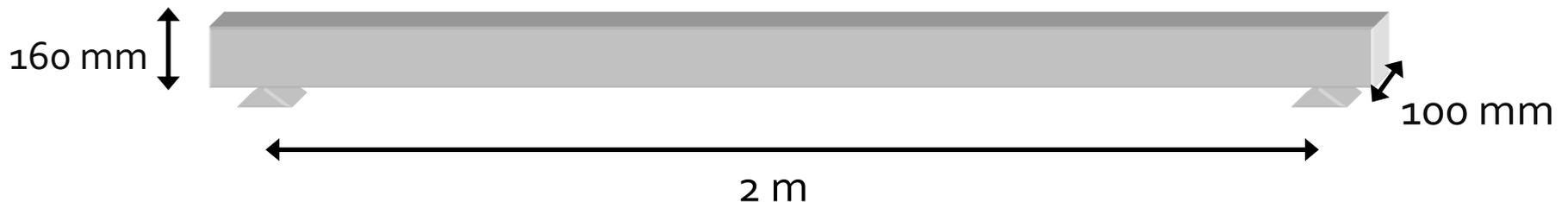
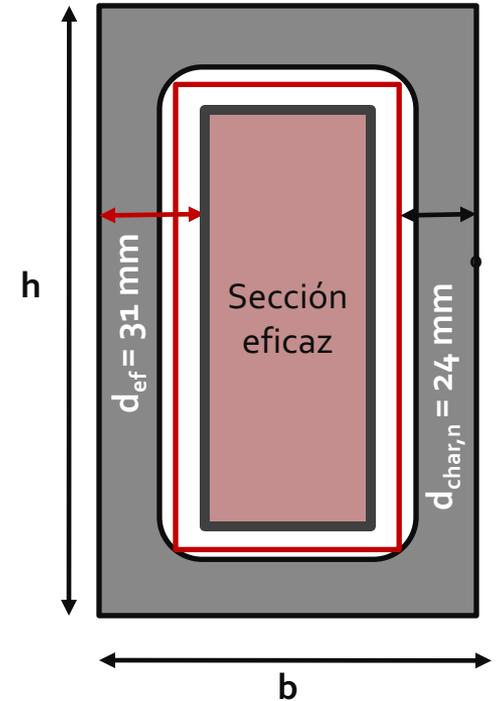


	$k_0$
$t < 20$ minutes	$t/20$
$t \geq 20$ minutes	1,0

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

R30 (t=30min)

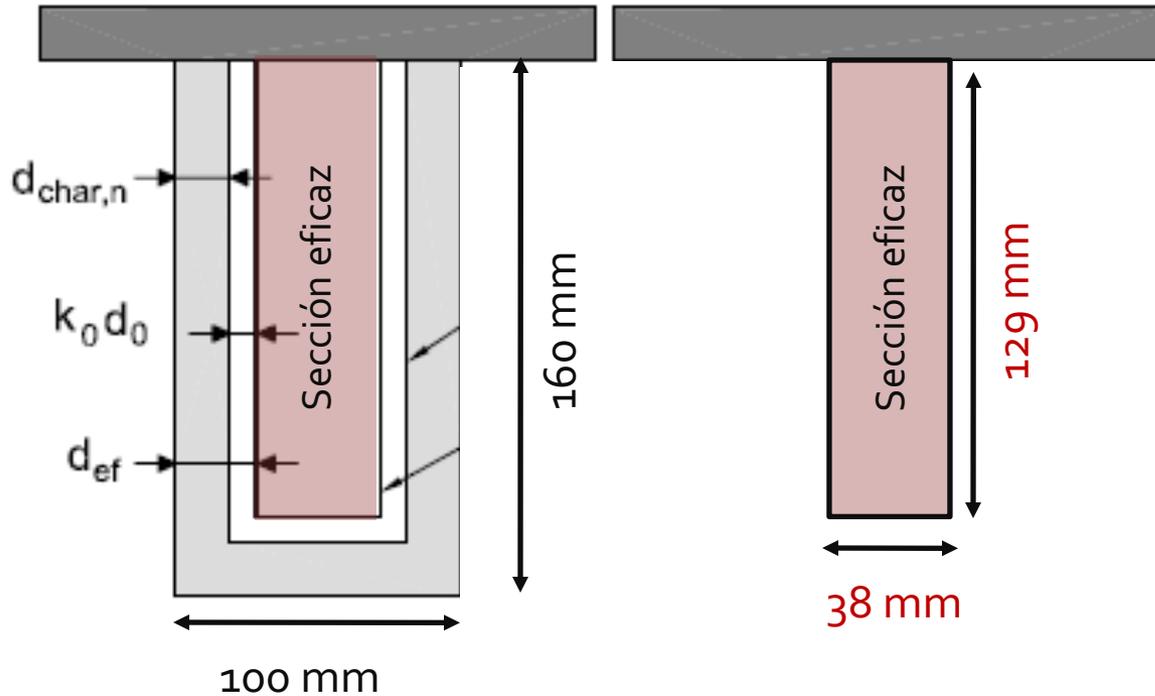
$$d_{ef} = 24 + 1 \cdot 7 = 31 \text{ mm}$$



## MÉTODO DE LA SECCIÓN REDUCIDA: ejemplo vigueta forjado

PROFUNDIDAD EFICAZ DE CARBONIZACIÓN,  $d_{ef}$ 

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$



	$k_0$
$t < 20$ minutes	$t/20$
$t \geq 20$ minutes	1,0

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

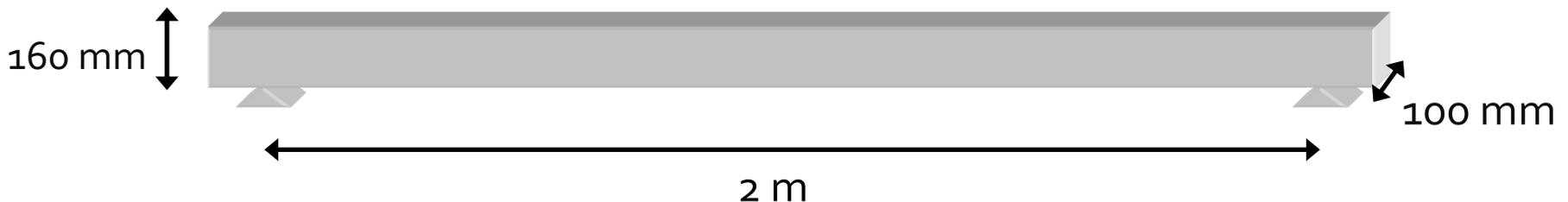
R30 ( $t=30$  min)

$$d_{ef} = 24 + 7 = 31 \text{ mm}$$

**N caras expuestas = 3**

$$b_{ef} = 100 - 2 \cdot 31 = 38 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = 160 - 31 = 129 \text{ mm}$$



## VALORES DE CÁLCULO EN COMPROBACIÓN A FUEGO: ejemplo vigueta forjado

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot (f_k / \gamma_M)$$

$\gamma_{M,fi}$ : coeficiente parcial de la madera en caso de incendio.  $\gamma_{M,fi} = 1.00$

\* $k_{mod,fi}$ : factor de modificación en caso de incendio.

Método de la sección reducida:  $k_{mod,fi} = 1.00$

$k_{fi}$ : coeficiente que permite transformar el valor característico de la propiedad en un valor medio

## DE LAS RESISTENCIAS EN CASO DE INCENDIO (f)

Debidas a la resistencia a fuego de la madera

Table 2.1 — Values of  $k_{fi}$

	$k_{fi}$
Solid timber	1,25
Glued-laminated timber	1,15
Wood-based panels	1,15
LVL	1,1
Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels	1,15
Connections with fasteners in shear with side members of steel	1,05
Connections with axially loaded fasteners	1,05

# VALORES DE CÁLCULO EN COMPROBACIÓN A FUEGO: ejemplo vigueta forjado

DE LAS TENSIONES EN CASO DE INCENDIO ( $\sigma$ )

DE LAS RESISTENCIAS EN CASO DE INCENDIO (f)

## ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS: VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA

### 1. FLEXIÓN SIMPLE:

Comprobación de la resistencia a flexión simple:  $\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$

Combinación de cargas:

	FUEGO	
Momento flector ( $M_{y,d}$ )	591,52	kN·mm
Tensión cálculo ( $\sigma_{m,y,d}$ )	5,61	N/mm <sup>2</sup>
Resistencia cálculo ( $f_{m,y,d}$ )	25,00	N/mm <sup>2</sup>

Comprobación **22,45** %

### 2. CORTANTE:

Combinación de cargas:

	FUEGO	
Esfuerzo cortante ( $V_{y,d}$ )	0,68	kN
Tensión cálculo ( $\tau_{y,d}$ )	0,21	N/mm <sup>2</sup>
Resistencia cálculo ( $f_{v,y,d}$ )	4,50	N/mm <sup>2</sup>

Comprobación **4,64** %

Se cumple la verificación de resistencia a flexión y a cortante

## ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS: INESTABILIDAD

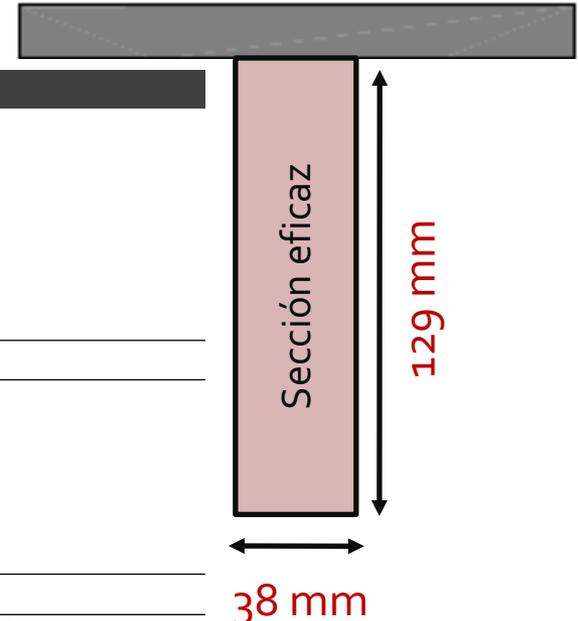
### 4. VUELCO LATERAL:

Combinación de cargas:

	FUEGO	
Tens. cálc. flex.: ( $\sigma_{m,y,d}$ )	5,61	N/mm <sup>2</sup>
Tens. crít.: $\sigma_{m,crit}$	24,0	N/mm <sup>2</sup>
$\lambda_{rel,m}$	0,91	
$k_{crit}$	0,87	
Resist. cálc. flex. ( $k_{crit} \cdot f_{m,y,d}$ )	21,87	N/mm <sup>2</sup>

Comprobación **25,67** %

Se cumple la verificación a resistencia a vuelco lateral

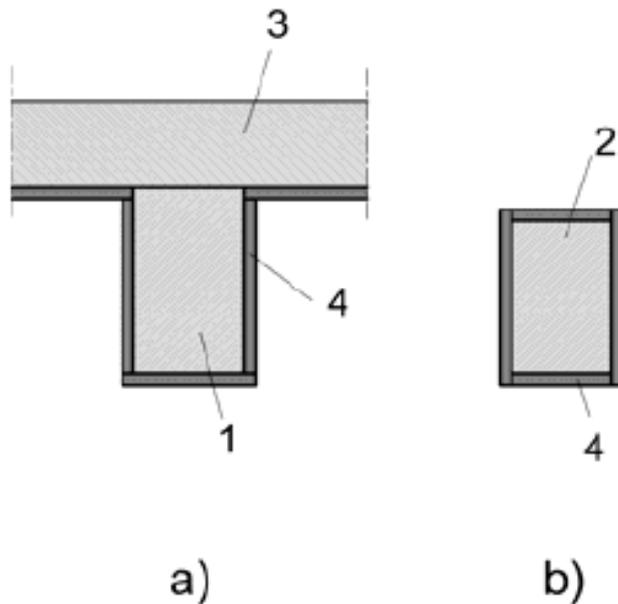


1. Introducción
2. Carbonización de la madera
3. Valores de cálculo y combinación de acciones
4. Cálculo de la resistencia mecánica frente al fuego: método de la sección eficaz
5. Protección
6. Uniones

## 7.8. Comprobación a fuego

## REVESTIMIENTOS DE PROTECCIÓN

Cuando se protegen los elementos estructurales (vigas o pilares) mediante revestimientos de protección, el inicio de la carbonización se retrasa hasta un tiempo,  $t_{ch}$ . (tiempo de inicio de la carbonización, min)



### 1. TABLEROS DE MADERA MACIZA O DERIVADOS DE MADERA

$$t_{ch} = h_p / \beta_0$$

$$t_f = t_{ch}$$

$h_p$ : espesor del tablero (mm)

$t_f$ : tiempo de fallo de la protección

Table 3.1 – Design charring rates  $\beta_0$  and  $\beta_n$  of timber, LVL, wood panelling and wood-based panels

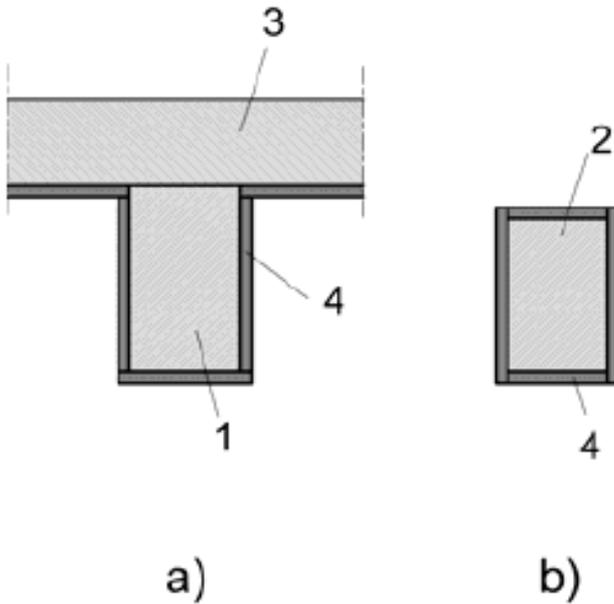
	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
<b>a) Softwood and beech</b>		
Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
<b>b) Hardwood</b>		
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
<b>c) LVL</b>		
with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
<b>d) Panels</b>		
Wood panelling	0,9 <sup>a</sup>	–
Plywood	1,0 <sup>a</sup>	–
Wood-based panels other than plywood	0,9 <sup>a</sup>	–

<sup>a</sup> The values apply to a characteristic density of  $450 \text{ kg/m}^3$  and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(9) for other thicknesses and densities.

El tiempo de fallo de los revestimientos,  $t_f$ , suele coincidir con el tiempo de inicio de la carbonización,  $t_{ch}$

## REVESTIMIENTOS DE PROTECCIÓN

Cuando se protegen los elementos estructurales (vigas o pilares) mediante revestimientos de protección, el inicio de la carbonización se retrasa hasta un tiempo,  $t_{ch}$ . (tiempo de inicio de la carbonización, min)



### 1. TABLEROS DE MADERA MACIZA O DERIVADOS DE MADERA

$$t_{ch} = h_p / \beta_o$$

$$t_f = t_{ch}$$

$h_p$ : espesor del tablero (mm)

$t_f$ : tiempo de fallo de la protección

### 2. PLACA DE YESO LAMINADO

$$t_{ch} = 2.8 \cdot h_p - 14$$

$$t_f = t_{ch}$$

$h_p$ : espesor del tablero (mm)

$t_f$ : tiempo de fallo de la protección

### 3. MANTAS DE LANA DE ROCA

$$t_{ch} = 0.07 \cdot (h_{ins} - 20) \cdot (\rho_{ins})^{0.5}$$

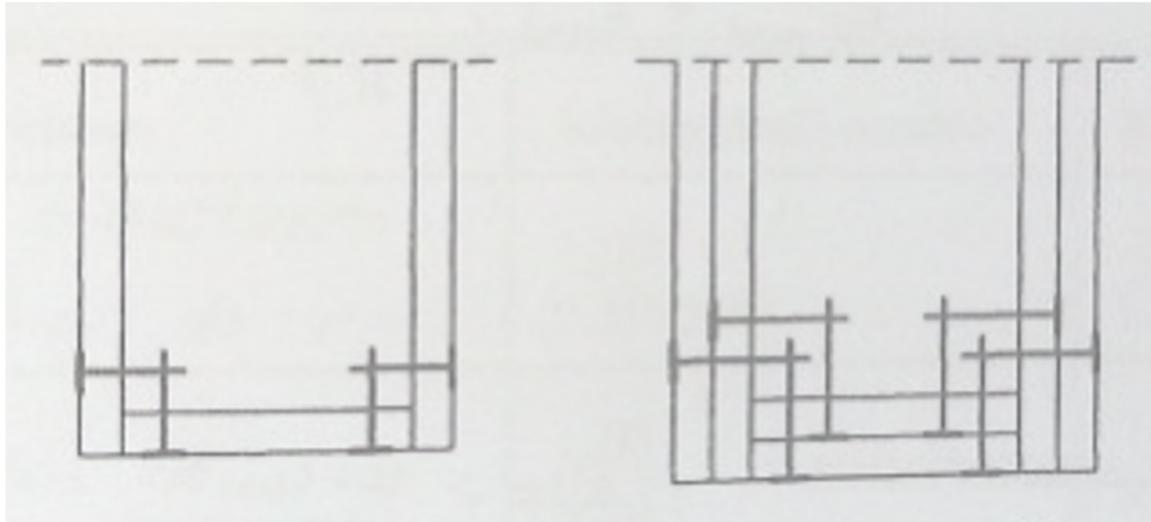
$h_{ins}$ : espesor del material de aislamiento (mm)

$\rho_{ins}$ : densidad del material de aislamiento (Kg/m<sup>3</sup>)

El tiempo de fallo de los revestimientos,  $t_f$ , suele coincidir con el tiempo de inicio de la carbonización,  $t_{ch}$

## REVESTIMIENTOS DE PROTECCIÓN

La fijación de los tableros a los elementos estructurales se realiza con **clavos separados a una distancia menor o igual a 300 mm** o con **adhesivos de uso estructural** que asegure su integridad durante el periodo de resistencia al fuego asignado



1. Introducción
2. Carbonización de la madera
3. Valores de cálculo y combinación de acciones
4. Cálculo de la resistencia mecánica frente al  
fuego: método de la sección eficaz
5. Protección
6. Uniones

## 7.8. Comprobación a fuego

## UNIONES

### UNIONES TIPO CLAVIJA

PIEZAS GRAN ESCUADRÍA

SE PUEDE CUMPLIR TIEMPOS DE ESTABILIDAD AL FUEGO

PIEZAS PEQUEÑA ESCUADRÍA

DIFÍCIL SUPERAR TIEMPOS >15 min. Requiere revestimiento

### HERRAJES METÁLICOS

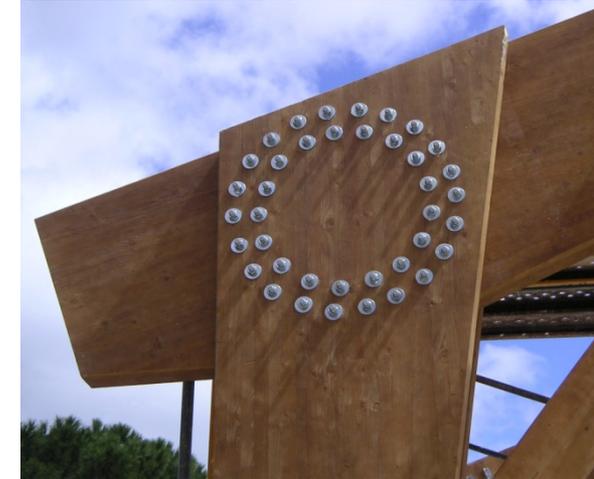
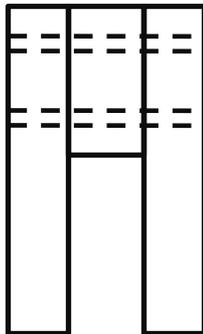
## UNIONES

## UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA

## 1. UNIONES SIN PROTEGER

Table 6.1 —Fire resistances of unprotected connections with side members of wood

	Time of fire resistance $t_{d,fi}$ min	Provisions <sup>a</sup>
Nails	15	$d \geq 2,8$ mm
Screws	15	$d \geq 3,5$ mm
Bolts	15	$t_1 \geq 45$ mm
Dowels	20	$t_1 \geq 45$ mm
Connectors according to EN 912	15	$t_1 \geq 45$ mm
<sup>a</sup> $d$ is the diameter of the fastener and $t_1$ is the thickness of the side member		



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

## UNIONES

## UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA

## 1. UNIONES SIN PROTEGER

Se alcanza un  $t_{d,fi} \geq 30 \text{ min}$  cuando las testas de las uniones no sobresalen de la superficie de la pieza, si:

-ESPESOR PIEZAS LATERALES

-ANCHURA PIEZAS LATERALES

$$t_1 \geq (t_{req} / (1.25 \cdot \eta_n))$$

-DISTANCIA A LA TESTA Y BORDE

$$a_3 \geq \beta_n \cdot (t_{req} + 15) \quad a_4 \geq \beta_n \cdot (t_{req} + 15)$$



Si no se cumplen las condiciones anteriores, alcanza un  $t_{d,fi} \geq 30 \text{ min}$  aumentando las dimensiones de las piezas en  $a_{fi}$ :

$$a_{fi} = \beta_n \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$$

$\beta_n$ : velocidad de carbonización

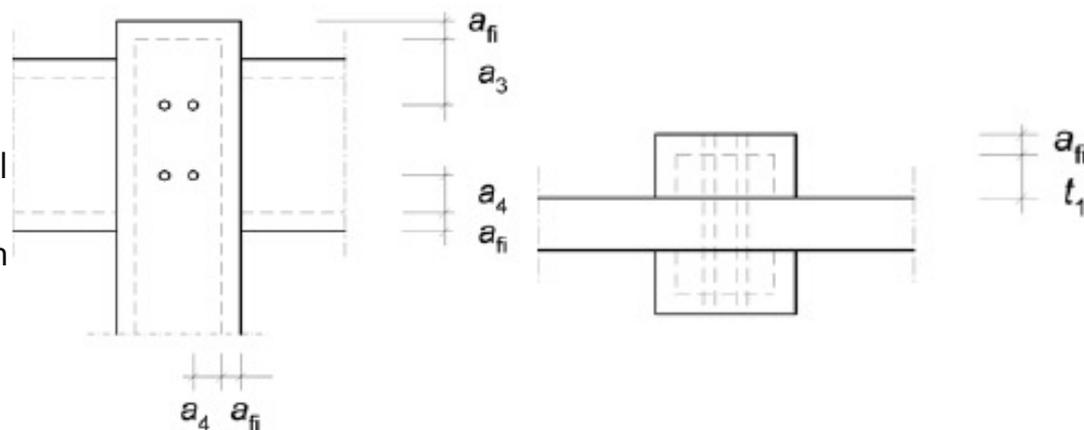
$k_{flux}$ : coeficiente que considera el flujo de calor a través del elemento de fijación ( $=1.5$ )

$t_{req}$ : período de tiempo requerido de resistencia al fuego normalizado

$t_{d,fi}$ : período de resistencia al fuego de la unión sin proteger

$\eta_n$ : relación entre el valor de cálculo de las cargas

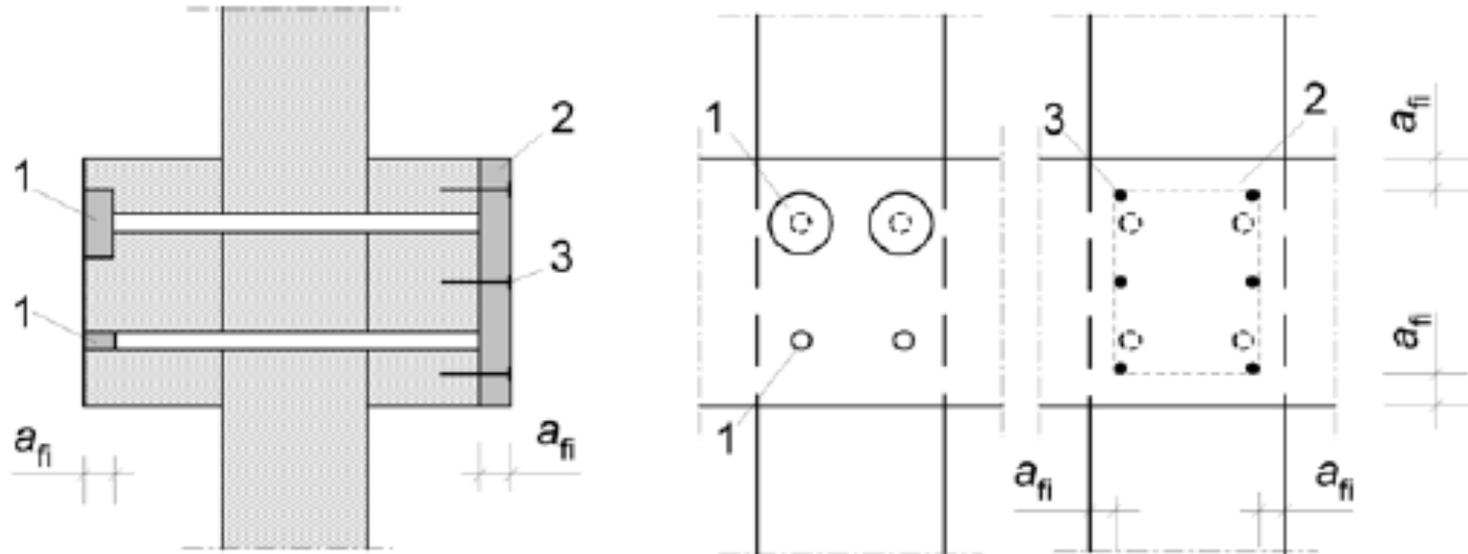
$E_d$  y la capacidad de carga de la unión,  $R_{d,n}$ .



## UNIONES

## UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA

## 2. UNIONES PROTEGIDAS



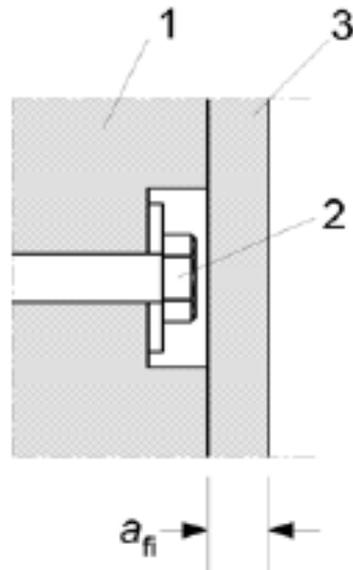
Key:

- 1 Glued-in plugs
- 2 Additional protection using panels
- 3 Fastener fixing panels providing additional protection

## UNIONES

## UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA

## 2. UNIONES PROTEGIDAS



Key:

- 1 Member
- 2 Bolt head
- 3 Member providing protection

## UNIONES

### UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA

#### 3. UNIONES CON PLACAS DE ACERO INTERNAS



EN 1995:1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego

## UNIONES

## UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA

## 3. UNIONES CON PLACAS DE ACERO INTERNAS

Table 6.2 — Widths of steel plates with unprotected edges

		$b_{st}$
Unprotected edges in general	R 30	$\geq 200$ mm
	R 60	$\geq 280$ mm
Unprotected edges on one or two sides	R 30	$\geq 120$ mm
	R 60	$\geq 280$ mm

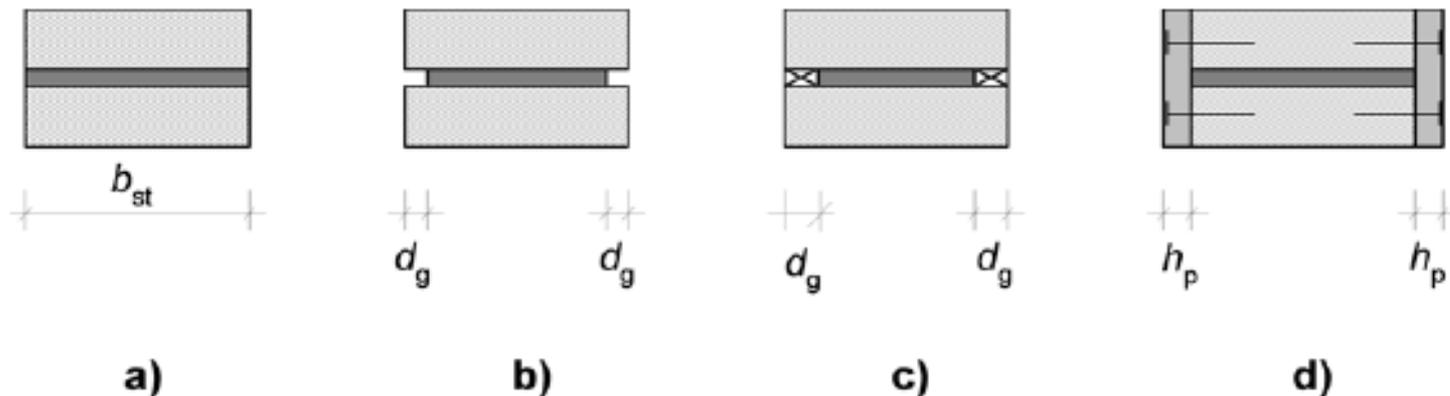


Figure 6.4 — Protection of edges of steel plates (fasteners not shown): a) unprotected, b) protected by gaps, c) protected by glued-in strips, d) protected by panels

## UNIONES

## UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA

## 4. UNIONES CON PLACAS DE ACERO EXTERNAS

 $R_{30}$ , si: espesor chapa  $\geq 6\text{mm}$  y  $\eta_{30} \leq 0.45$ 

EN 1995:1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego



# Ejercicios

Letra

Examen diciembre 2020

## Ejercicio 2

Considérese una estructura de madera, de vigas simplemente apoyadas sobre pilares (tipo entrepiso), sobre la que actúa una carga permanente de  $1.4 \text{ kN/m}^2$  (incluyendo el peso propio de la estructura) y una sobrecarga de uso uniforme de  $2.5 \text{ kN/m}^2$  ( $\psi_1 = 0.5$ ).

La estructura está emplazada en el interior de un edificio y está resuelta con madera laminada encolada de *Abies alba*, GL24h. Las vigas tienen una sección rectangular de  $130 \times 493 \text{ mm}^2$ , mientras que los pilares tienen una sección de  $130 \times 365 \text{ mm}^2$ . Estos últimos tienen una longitud de pandeo de  $4.10 \text{ m}$  respecto al eje fuerte y de la mitad respecto al eje débil.

$$A_{\text{influencia}} = 20.976 \text{ m}^2$$

### Parte c

En la situación accidental de incendio se considera que los pilares están expuestos en las dos caras y uno de los cantos. Calcular el tiempo máximo que resiste el pilar en la situación de incendio. Ingresar el tiempo en min, con al menos una cifra después de la coma.

Letra

Examen febrero 2021

## Ejercicio 2

Sea una viga simplemente apoyada de madera laminada encolada (de una conífera), clase resistente GL24h y clase de uso 2. La viga, que forma parte de una terraza, tiene una luz de 3.90 m, un ancho de influencia de 3 m, y una sección rectangular de 240 x 390 mm<sup>2</sup>.

Sobre la viga descarga una carga permanente lineal (de peso propio y de los elementos constructivos) de 1.2 kN/m. Además, el entrepiso de la terraza resiste una sobrecarga de uso de 2.4 kN/m<sup>2</sup>, y un viento (de duración corta) que tiene asociado una presión de pico de 1500 Pa y coeficientes totales de presión 0.37 y - 1.21.

Para la resolución considerar los siguientes coeficientes de simultaneidad:

Acción	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga de uso	0.4	0.2	0
Viento	0.6	0.5	0

Adicionalmente, asumir que no aplica el factor de carga compartida.

Letra

Examen febrero 2021

## Ejercicio 2

Para la resolución considerar los siguientes coeficientes de simultaneidad:

Acción	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga de uso	0.4	0.2	0
Viento	0.6	0.5	0

Adicionalmente, asumir que no aplica el factor de carga compartida.

### Parte b

Determinar el tiempo de exposición al fuego a partir del cual empieza a ser determinante el cálculo de inestabilidad por flexión (pandeo lateral torsional). Para el cálculo, considerar que solamente la cara superior (contra el cielorraso) se encuentra protegida. Expresar el tiempo en min, con dos cifras después de la coma.

Letra

Examen marzo 2021

## Ejercicio 1

Sea una viga simplemente apoyada de madera laminada encolada (de una conífera), GL24h, que forma parte de la cubierta de una piscina climatizada cerrada. La viga tiene una luz de 10.00 m, un ancho de influencia de 2.30 m, y una sección rectangular de 140 x 290 mm<sup>2</sup> en la parte de sección menor y de 140 x 390 mm<sup>2</sup> en la parte de sección mayor (al centro).

Sobre la viga descarga una carga permanente lineal (de peso propio y de los elementos constructivos) de 1.0 kN/m (con coeficientes parciales de seguridad  $\gamma_F = 0.80$  y  $\gamma_F = 1.35$ ). Además, la cubierta resiste una sobrecarga de uso puntual (de duración corta, con  $\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = 0$ ) de 1.5 kN, y un viento (de duración instantánea, con  $\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = 0$ ) que tiene asociado una presión de pico de 1200 Pa y coeficiente total de presión - 0.55 (succión).

### Parte b

Calcular el coeficiente de verificación ( $\sigma_{m,d}/f_{m,d}$ ) asociado a la verificación de flexión simple (sin efectos de inestabilidad), fuera del vértice, en el borde paralelo, para la combinación de acciones crítica en la situación accidental de incendio. Para el cálculo, asumir una exigencia R30 y considerar que solamente la cara superior (contra el cielorraso) se encuentra protegida. Ingresar el coeficiente con tres cifras después de la coma.

Letra

Examen diciembre 2021

## Ejercicio 2

Considérese un pilar doble de madera laminada de conífera, clase resistente GL24h ( $E_{0,05} = 9.6$  GPa), en clase de uso 2. El pilar está compuesto por dos piezas de  $70 \times 260$  mm<sup>2</sup>, separadas 80 mm, de manera que la sección doble queda contenida en un rectángulo de  $220 \times 260$  mm<sup>2</sup>. El pilar tiene una luz de cálculo de 4.50 m en los dos sentidos. Las dos piezas se encuentran conectadas mediante tacos (o separadores) de madera encolados, separados entre sí una distancia igual a un cuarto de la luz de cálculo.

Sobre el pilar actúan dos cargas de compresión, una debida a cargas permanentes de valor 80 kN, y otra debida a una carga variable de valor 40 kN. La carga variable tiene una duración media y los siguientes coeficientes de simultaneidad:  $\psi_0 = 0.6$ ,  $\psi_1 = 0.5$  y  $\psi_2 = 0$ .

### Parte b

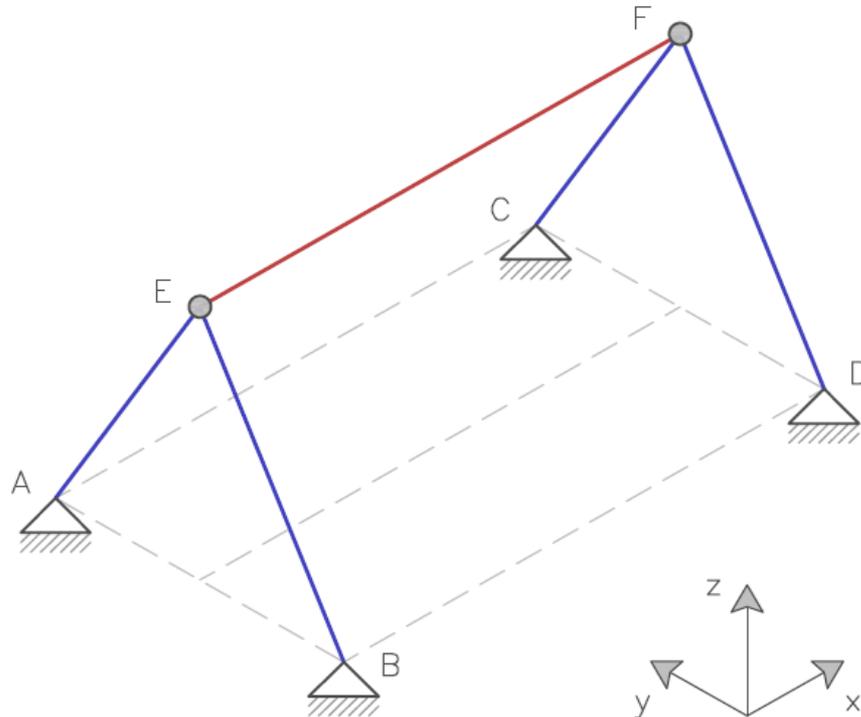
En la situación accidental de incendio se considera que los pilares están expuestos en dos de las cuatro caras y en los dos cantos (de manera que la separación entre elementos permanece constante). En otras palabras, solo el perímetro exterior de la sección queda expuesto al fuego. Calcular el tiempo máximo que resiste el pilar en la situación de incendio. Ingresar el tiempo en min, con al menos una cifra después de la coma.

Letra

Examen julio 2022

**Ejercicio 1**

La estructura de la figura consiste en una viga simplemente apoyada (EF, representada en rojo) apoyada sobre dos pórticos triarticulados (AEB y CFD, representados en azul). Las líneas grises y punteadas indican la proyección de la estructura en el plano  $z = 0$ .



Letra

Examen julio 2022

### Ejercicio 1

Toda la estructura está construida con MLE de conífera, clase resistente GL24h. Los pórticos triarticulados tienen una sección rectangular de  $130 \times 220 \text{ mm}^2$ , mientras que la viga transversal tiene una sección rectangular de  $130 \times 280 \text{ mm}^2$ . Además, se toman las siguientes distancias entre puntos:  $\overline{AB} = 2800 \text{ mm}$ ,  $\overline{AC} = 5000 \text{ mm}$  y  $\overline{AE} = 2800 \text{ mm}$ .

Sobre la viga transversal actúan tres cargas de orígenes distintos:

1. una carga uniformemente distribuida debida a las cargas permanentes (gravitatorias), de valor  $1.0 \text{ kN/m}$  (incluyendo el peso propio de la viga);
2. una carga concentrada móvil (puede actuar en cualquier punto de la viga) debida a una sobrecarga de uso, de valor  $7 \text{ kN}$  según  $-z$ , de duración corta, y que tiene asociados unos coeficientes de simultaneidad  $\psi_0 = 0.7$ ,  $\psi_1 = 0.5$  y  $\psi_2 = 0.3$ ;
3. una carga uniformemente distribuida debida al viento, de valor  $1.7 \text{ kN/m}$  según  $y$ , de duración instantánea, y que tiene asociados unos coeficientes de simultaneidad  $\psi_0 = 0.6$ ,  $\psi_1 = 0.4$  y  $\psi_2 = 0.2$ .

#### Parte b

En la situación accidental de incendio se considera que los elementos de MLE de los pórticos ( $E_{0,05} = 9.6 \text{ GPa}$ ) están expuestos en las dos caras y en los dos cantos. Asumiendo que la estructura está arriostrada según  $x$  en E, determinar el tiempo máximo de exposición a fuego (que resisten los pórticos) asociado a la capacidad de carga a compresión (con efectos de inestabilidad) para la combinación de acciones crítica (en situación accidental). Ingresar el tiempo en min, con al menos una cifra después de la coma.



Gracias por  
la atención

FACULTAD DE  
INGENIERIA

