



CONCURSO

# INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

MEMORIAS, INVESTIGACIONES PATENTES,  
PROYECTOS DE TÍTULOS

La VII Versión del Concurso, tiene como objetivo destacar a aquellos alumnos de las carreras de ingeniería y construcción civil que hayan desarrollado o se encuentren desarrollando memorias de título, proyectos de título, investigaciones o patentes en torno a la madera.





EQUIPO ING2845

# **Comportamiento al fuego de componentes estructurales de madera contralaminada**

# Construcción en altura con madera

Uno de los actuales desafíos en el rubro de la construcción.



Mjøstårnet, Noruega (18 pisos)

<https://www.xataka.com/ecologia-y-naturaleza/noruega-estan-construyendo-rascacielos-madera-sera-edificio-madera-alto-mundo>

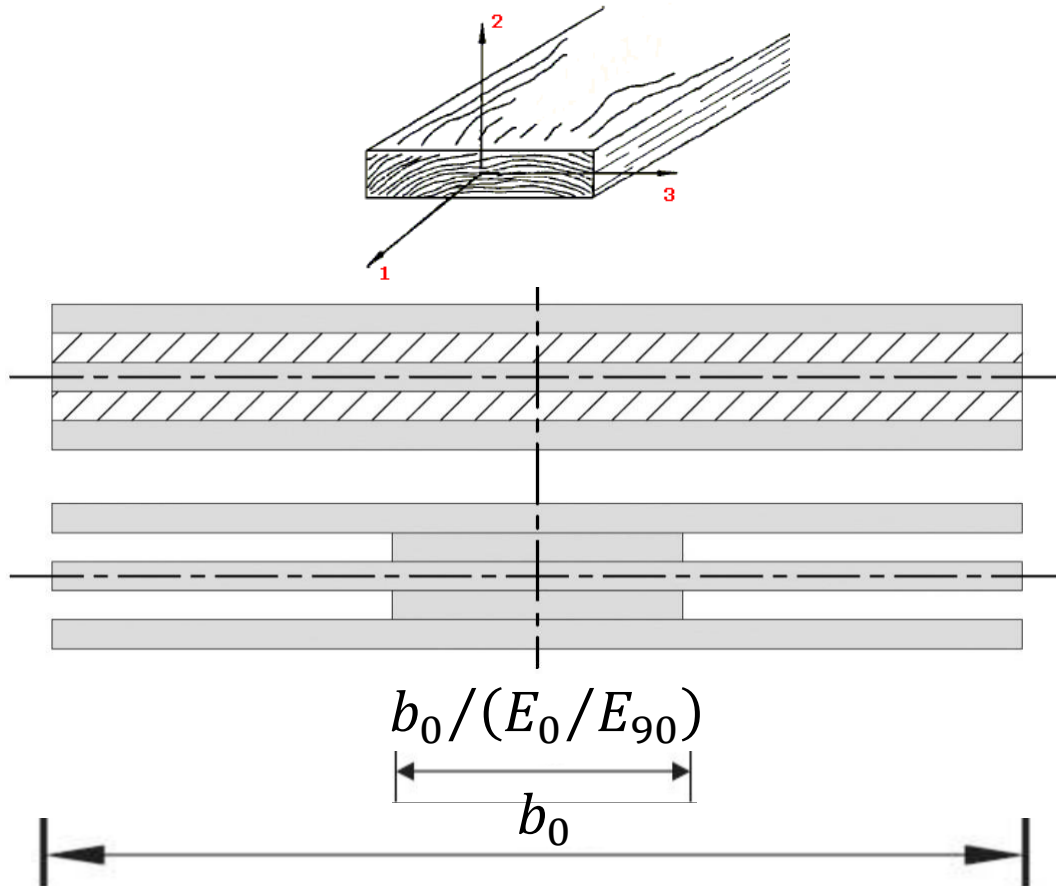
- En respuesta a este desafío es que ha surgido el material de construcción denominado madera contralaminada.
- Este consiste en una disposición encolada contrapuesta en  $90^\circ$  de entablados de piezas de madera aserrada enfrentadas en sus cantos y eventualmente vinculadas entre sí por medio de un encolado.



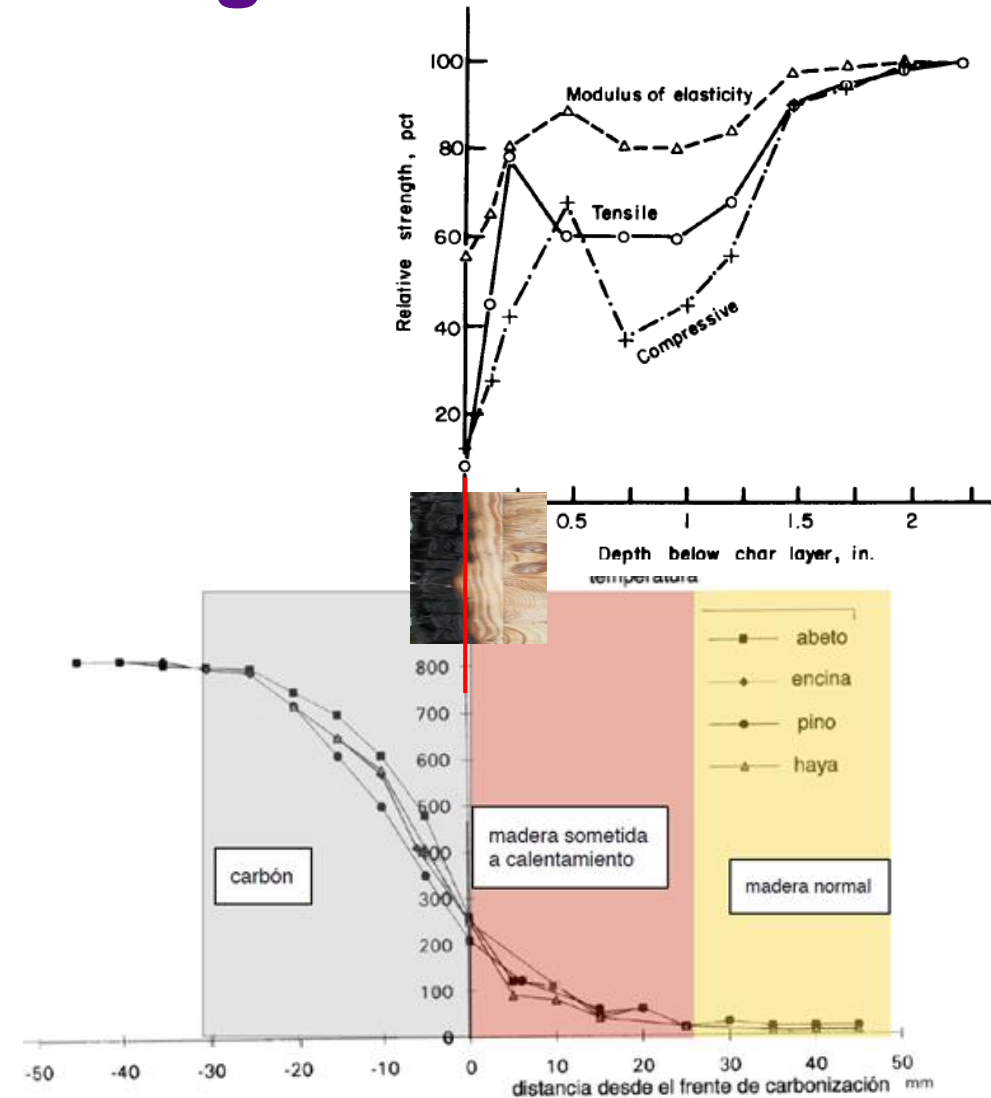
## Objetivos del Trabajo:

- Estudiar los métodos analíticos disponibles para la estimación de la resistencia al fuego de componentes estructurales de MCL.
- Analizar la experiencia internacional relacionada con la verificación experimental del comportamiento al fuego de componentes constructivas de MCL.
- Aplicar los métodos de análisis y ensayos a casos específicos ensayados en el laboratorio de fuego del IDIEM.

# Ortotropía & Comportamiento al Fuego de la Madera:

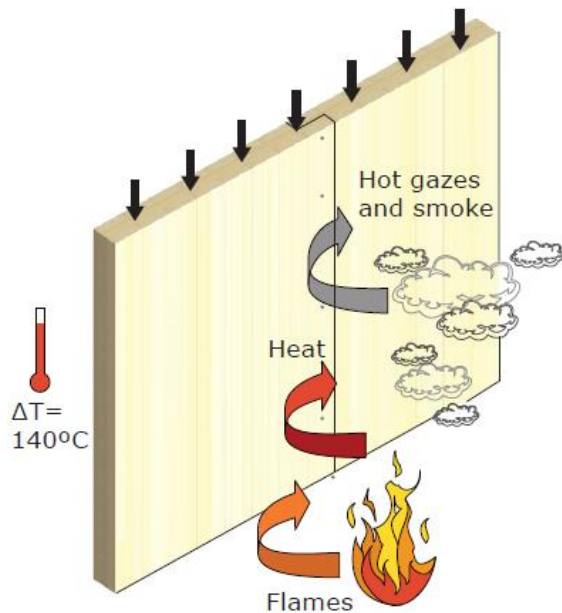


$$\frac{E_0}{E_{90}} \approx 30$$



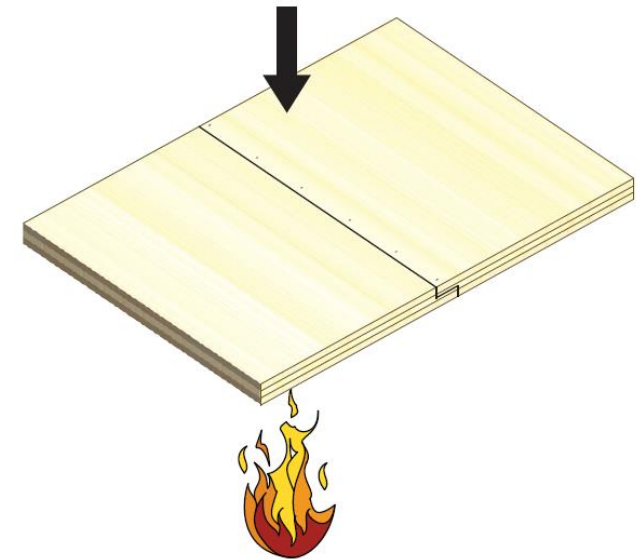
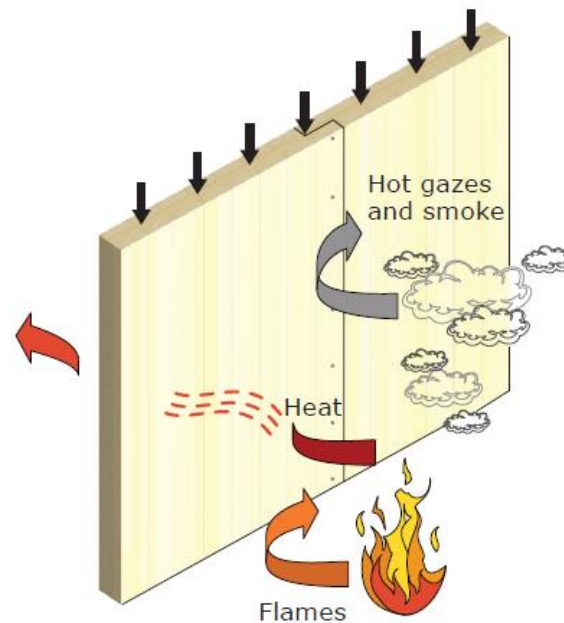
T° de carbonización de la madera → T<sub>p</sub> ~ 300°C

# Requisitos Básicos de Comportamiento al Fuego:



Criterio de Aislamiento térmico (I)

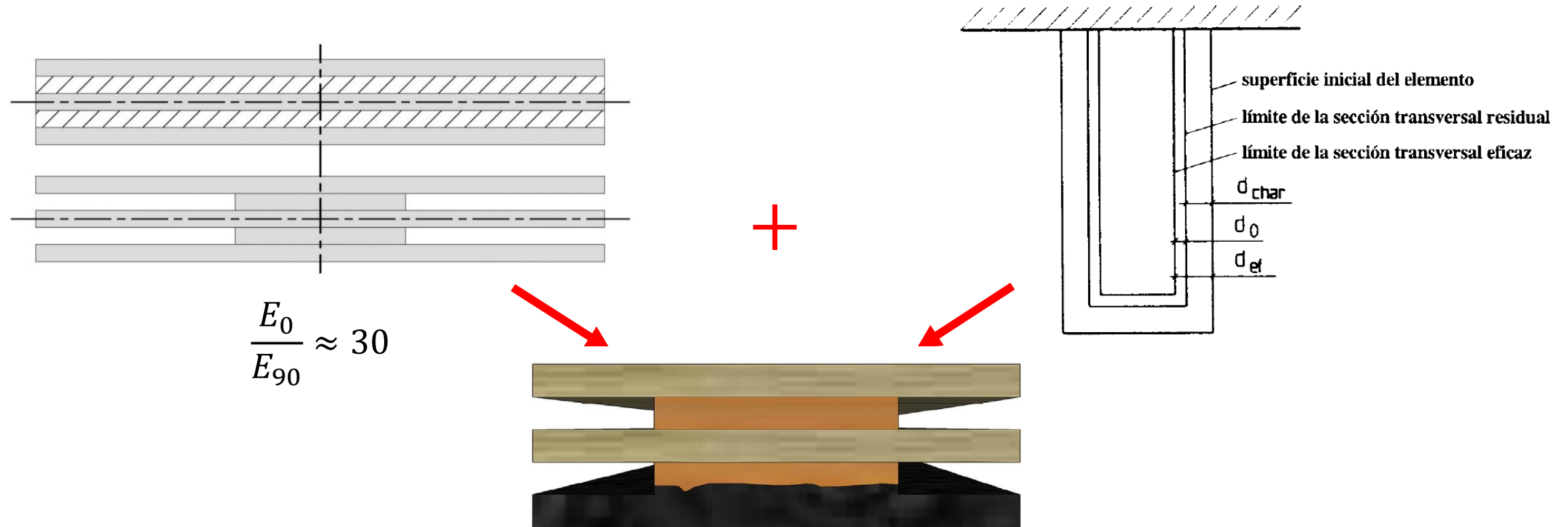
## Criterio de Integridad (E)



Criterio de Capacidad Portante (R)

➤ Según EC5 : Criterio I (OK)  $\xRightarrow{EC5}$  Criterio E (OK)

## Diseño Estructural de elementos de MCL al Fuego:



➤ Parámetros necesarios requeridos para el diseño al fuego de elementos de madera:

$\beta_0$      $d_0$

# Referencias utilizadas para determinar:

## Resistencia según Criterio R,

- Eurocódigo: EN1995-1-2:2004 (EC5).
- Fire Safety in Timber Buildings (FSTB).
- The Canadian Edition of the Cross Laminated Timber Handbook (CDN.-HDB)
- The U.S. Edition of the Cross Laminated Timber Handbook (USA-HDB)
- “Literatura” (Papers, Manuales, Revistas)

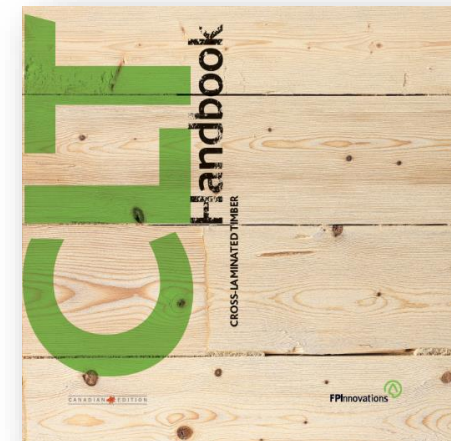
## Resistencia según Criterio R,

- Fire Safety in Timber Buildings (FSTB).
- (CDN-HDB) & (USA-HDB) (contienen la misma recomendación)

EC5



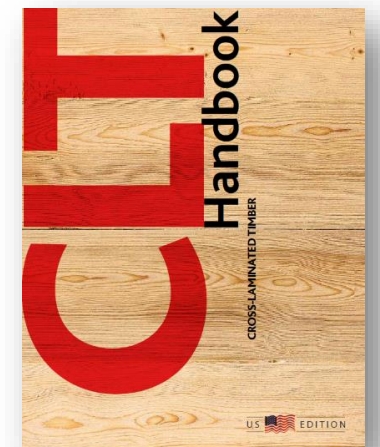
CDN-HDB



FSTB



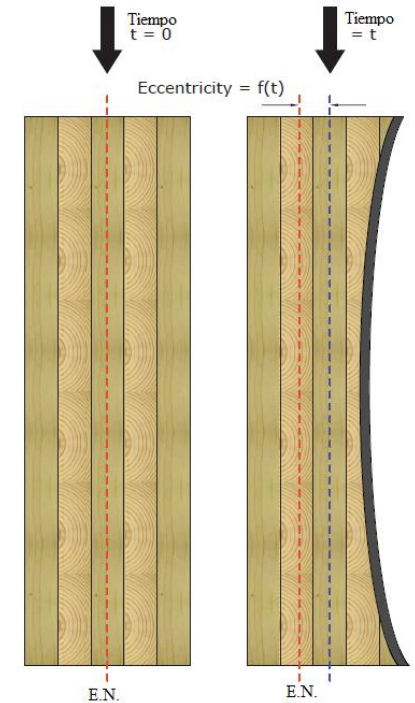
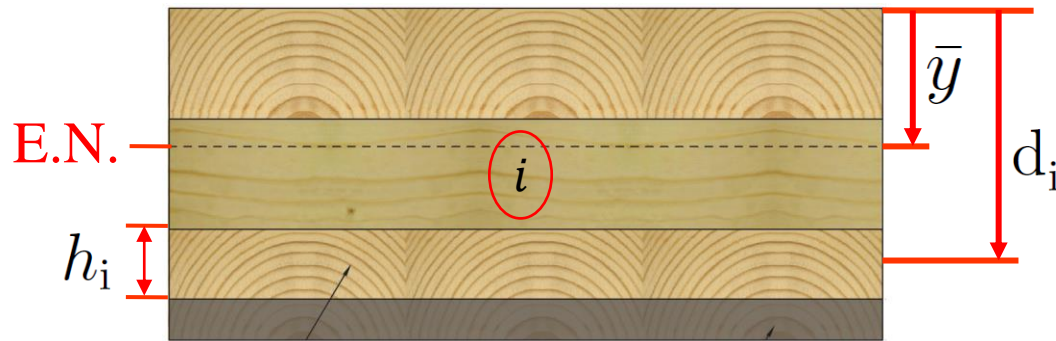
USA-HDB



+ “Literatura”...



# Consideraciones de geométricas dado el evento de incendio



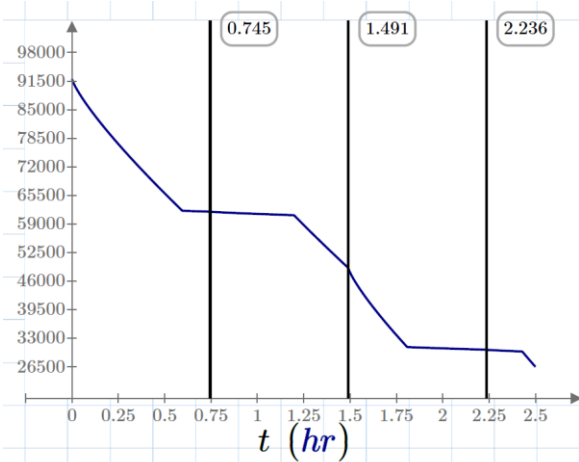
Debido a la reducción de las dimensiones reales y efectivas, se debe considerar:

- Variación de la posición del eje neutro (En Diseño a Flexión).
- Variación de la excentricidad de la carga (En Diseño a Compresión).
- Variación de las propiedades geométricas en el tiempo (En Diseño a Flexión y a Compresión)

# Diseño Estructural de Paneles de MCL al Fuego (Criterio R)

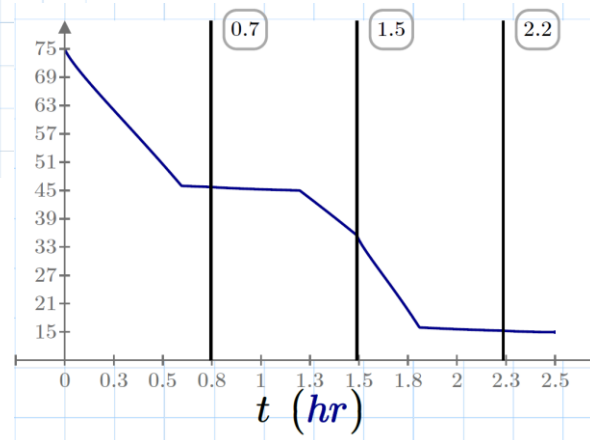
## Cálculo Estructural:

➤ Variaciones temporales de las propiedades geométricas efectivas:



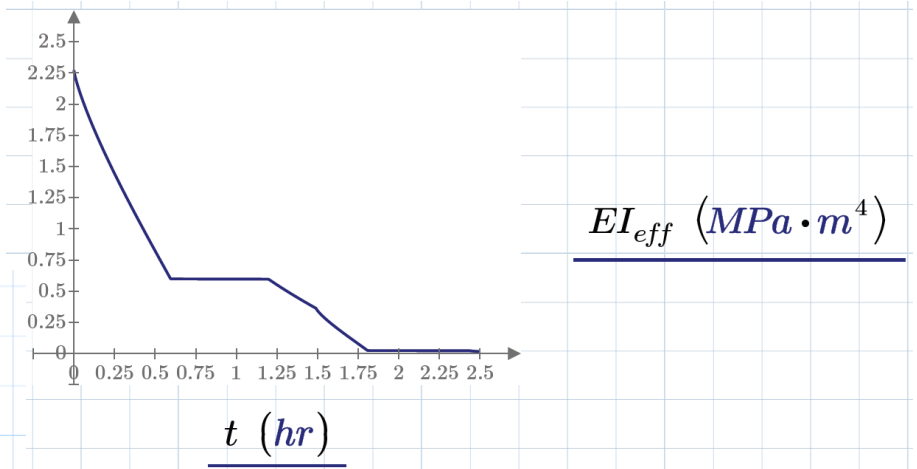
**Fig. 1.-Área efectiva.**

A<sub>eff</sub> (mm<sup>2</sup>)



**Fig. 2.-Centroide sección transversal.**

y (mm)



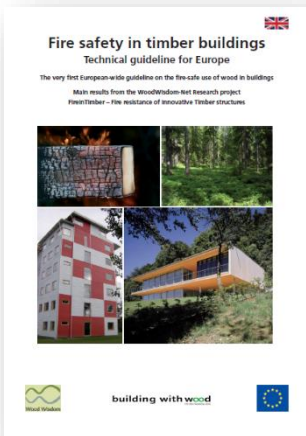
**Fig. 3.-Rigidez efectiva a flexión.**

EI<sub>eff</sub> (MPa·m<sup>4</sup>)

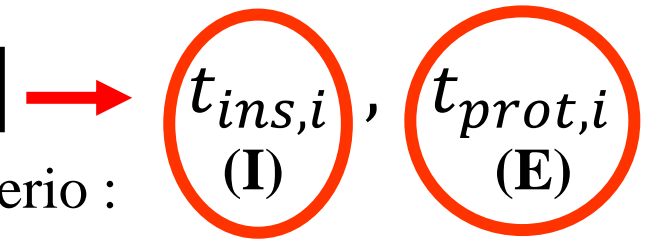
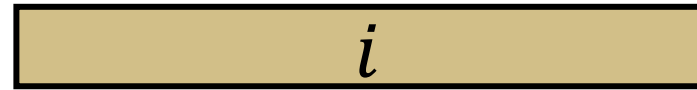
t (hr)

# Criterio I & E ( $t_{ins} \geq t_{req} [min]$ ):

## FSTB



Para la lámina  $i$ -ésima:

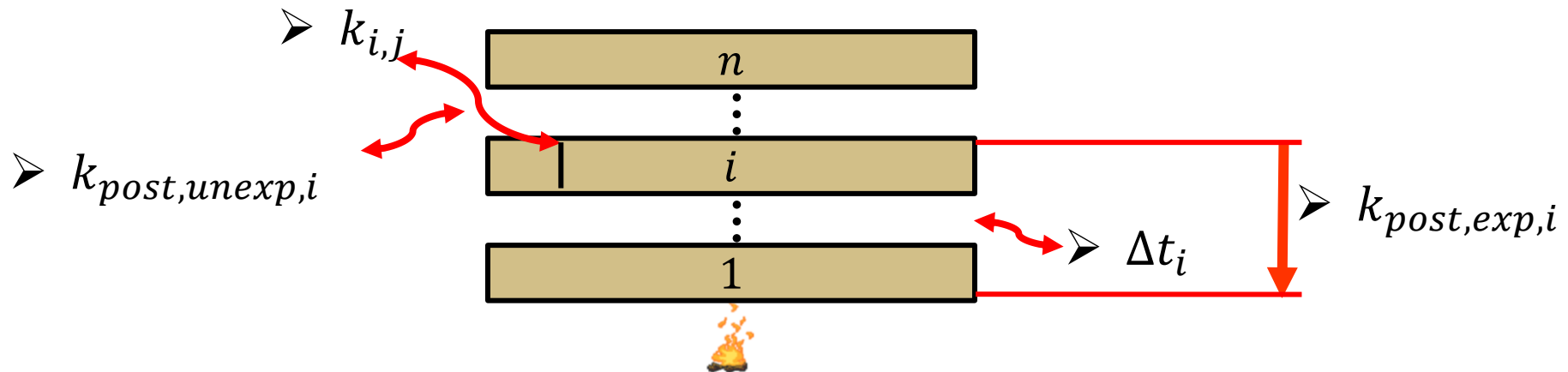


Asociado a Criterio :

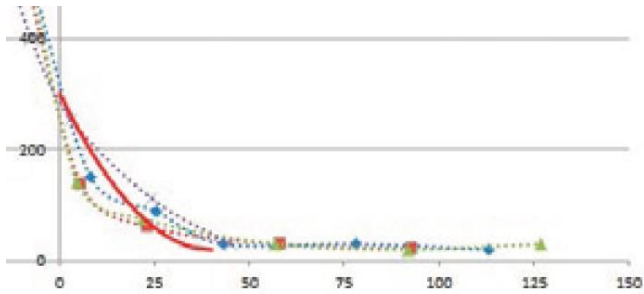
Se tiene:

$$t_{ins} = t_{ins,n} + \sum_{i=1}^{n-1} t_{prot,i}, \text{ donde: } t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$$

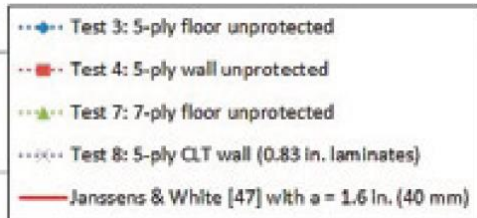
$$t_{ins,n} = (t_{prot,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} + \Delta t_n) \cdot k_{j,n}$$



## J & W (Recomendado en CDN-HDB y en USA-HDB)



from char front at end of test (mm)



$$T = T_i + (T_p - T_i) \cdot \left(1 - \frac{x}{a}\right)^2$$

En MCL se recomiendan los siguientes parámetros:

$$T = 20^\circ C + (300^\circ C - 20^\circ C) \cdot \left(1 - \frac{x}{40 [mm]}\right)^2$$

Imponiendo  $T = 140^\circ C$  (Tal que cumpla Criterio I)

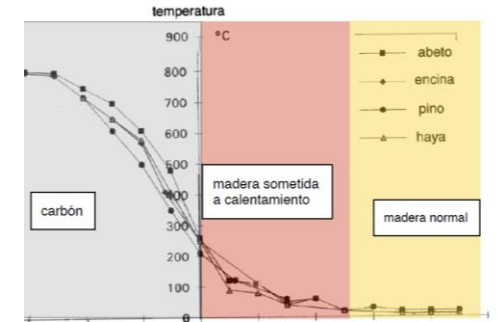
⋮

$$x = 12 [mm]$$

(espesor necesario más allá de lo carbonizado, tal que se cumpla  $\Delta T \leq 140^\circ C$ , y denominado  $x_{\Delta 140}$ )

En general:

$$T_{\Delta 140} [min] = \frac{H - x_{\Delta 140}}{\beta}, \text{ con: } x_{\Delta 140} = a \cdot \frac{(T_p - T_i) - \sqrt{(T_p - T_i) \cdot (T_p - T_i)}}{T_p - T_i}$$



## ■ Aplicación de Criterios (E) & (I) y (R) a Ensayos:

### Muro



Carga:  
120 [kg/m].

### Criterio (R)

Referencia	Tiempo [min]
EC5 [CEN, 2004]	94,5
FSTB [Östman et al., 2010]	98,1
CDN-HDB [Dagenias, 2011]	102
USA-HDB [Dagenias and White, 2013]	106,8

### Criterios (E) & (I)

Referencia	Tiempo [min]
EC5 [CEN, 2004]	-
FSTB [Östman et al., 2010]	92,7
J & W [Janssens and White, 1994]	135

Dimensiones: 2,4 [m] x 2,2 [m] x 10 [cm] (alto, ancho y espesor)

Resistencia: 62 [min], dado que se observó emisión de gases inflamables

## ■ Aplicación de Criterios (E) & (I) y (R) a Ensayos

### Losa



Carga: 100 [kg/m<sup>2</sup>].

### Criterio (R)

Referencia	Tiempo [min]
EC5 [CEN, 2004]	32,7
FSTB [Östman et al., 2010]	32,7
CDN-HDB [Dagenias, 2011]	35,4
USA-HDB [Dagenias and White, 2013]	38,7

### Criterios (E) & (I)

Referencia	Tiempo [min]
EC5 [CEN, 2004]	-
FSTB [Östman et al., 2010]	92,7
J & W [Janssens and White, 1994]	133,8

Dimensiones: 3,5 [m] x 4,5 [m] x 9,9 [cm] (ancho, largo y espesor)

Resistencia: 27 [min], dado que se observó emisión de gases inflamables

# Comentarios y Conclusiones:

## Análisis teórico de métodos de diseño según Criterio (E), (I) y (R)

- Con respecto a la Resistencia (E) & (I), se reconoce dependencia de la cantidad de láminas que conforman el panel, con la cantidad de tiempo de resistencia, para una misma altura H.
- Paneles de MCL conformados por 3 capas pierden su capacidad resistente porcentualmente más rápido que los conformados por 5 capas.

## Comparación de resultados de ensayos con métodos de cálculo

- No se aprecian diferencias significativas entre los métodos de diseño de la capacidad portante de paneles de MCL, a pesar de las diferentes consideraciones de  $\beta_0$  y  $d_0$ .
- El tiempo de RF determinado en los ensayos, esta ligado estrictamente a la carga a la cual se ensayó, por lo que de tener que enfrentarse a una carga distinta a la ensayada, el ingeniero calculista deberá realizar el diseño correspondiente a dicha carga.
- Si bien la Norma NCh935-1-1997 no exige ensayos con una carga mayor a la ahí especificada, esto se hace indispensable si se busca implementar un sistema de construcción en altura con MCL, ya que las cargas solicitantes serán mayores, y por lo tanto, se hace necesaria una mejor comprensión del material con estos niveles de carga..