

Desarrollo metodológico mediante análisis experimental de la valoración de la degradación en situación de incendio de uniones carpinteras en estructuras de madera laminada encolada.

Rubén Regueira Gay

Ingeniero de Montes – Dpto Ingeniería Agroforestal
Universidad de Santiago de Compostela
(Lugo, España)

ruben.regueira@usc.es



Iosu Mordillo Astigarraga

Ingeniero de Montes
Laboratorio de Ingeniería del Fuego
CIDEMCO-Tecnalia (Azpeitia, España)

o82moasj@usco.es



Izaskun Martínez Lanz

Licenciada en Química
Laboratorio de Ingeniería del Fuego
CIDEMCO-Tecnalia (Azpeitia, España)

izaskun.martinez@tecnalia.com



Beatriz González Rodrigo

Dr. Ingeniero de Montes - Instituto de Ciencias
de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)
(Madrid, España)

bgonzalez@ietcc.csic.es



Manuel Guaita Fernández

Dr. Ingeniero Agrónomo – Dpto. Ingeniería Agroforestal
Universidad de Santiago de Compostela
(Lugo, España)

m.guaita@usc.es



Palabras clave - incendio, unión carpintera, cola de milano, tasa de carbonización, desarrollo metodológico

Keywords - fire, carpenter union, dove tail joint, charring rate, methodological development

RESUMEN

En situación de incendio, los elementos estructurales de madera laminada encolada (“MLE”) sufren una degradación térmica que les lleva a una pérdida de sección portante. El Código Técnico de la Edificación cuantifica esta pérdida en 0,55 - 0,70 mm/min por cada cara sometida a carga, según especie y densidad, pero no propone una metodología específica para el cálculo de uniones carpinteras en situación de incendio.

Para conocer el comportamiento de este tipo de uniones en situación de incendio, la Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural (PEMADE) de la Universidad de Santiago de Compostela, el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y el Centro Tecnológico CIDEMCO-Tecnalia han realizado conjuntamente una serie de ensayos experimentales sobre probetas ensambladas con unión carpintera del tipo cola de milano. Se han sometido las probetas a cargas

térmicas variantes en el tiempo siguiendo la norma ISO 834-1, tal y como indica el CTE. Se registró usando termopares la variación de la temperatura a lo largo de la duración del ensayo. En este trabajo se expone en detalle la metodología desarrollada para realizar los ensayos, así como los primeros resultados obtenidos.

ABSTRACT

In a fire event, glued laminated timber ("GLULAM") elements suffer a thermal degradation that produces in them a decrease of bearing section. Spanish technical building normative ("CTE") quantify this decreasing from 0.55 to 0.70 mm / min according to species and density, but does not propose a specific methodology for calculating carpenter joints in a fire situation.

In order to understand the behavior of such joints in a fire situation, the Platform for Structural Timber Engineering (PEMADE) of University of Santiago de Compostela; Institute of Science Construction Eduardo Torroja and Technology Center CIDEMCO-Tecnalia conducted together a series of experimental tests on glulam specimens assembled with a carpenter union type called "dovetail". Specimens were subjected to thermal loads varying in time according to ISO 834-1, as indicated by the CTE. Thermocouples were inserted in the specimens, recording the temperature variation along the length of the test.

This paper details the methodology developed for the test and the first results.

1. Introducción

En situación de incendio, los elementos estructurales de madera laminada encolada ("MLE") sufren una degradación térmica que les lleva a una pérdida de sección portante. Para el cálculo de elementos longitudinales de sección rectangular en estructuras de MLE según el método que indica el Código Técnico de la Edificación ("CTE", documento que contiene la norma que en España regula el cálculo de estructuras de madera), es fundamental el valor de la tasa de carbonización del elemento estructural, que es la velocidad a la que se produce la pérdida de sección anteriormente mencionada. El CTE postula valores de 0,55 - 0,70 mm/min según especie y densidad, pero no propone una metodología específica para el cálculo de uniones carpinteras en situación de incendio. Para intentar conocer el comportamiento de unión carpintera en situación de incendio, se desarrolló una metodología de realización de ensayos experimentales que a continuación se expondrá.

2. Metodología

2. 1. Revisión bibliográfica

Existen en la literatura diversos estudios en los que, con mayor o menor exhaustividad, se describe el procedimiento experimental llevado a cabo para, sometiendo a determinadas cargas térmicas, conocer determinados aspectos del comportamiento de la madera en situación de incendio. Habitualmente se trata de determinar las propiedades térmicas de la madera (conductividad térmica y calor específico) y su variación con la temperatura; la tasa de carbonización del elemento estudiado; la pérdida de capacidad portante o todos ellos.

Son destacables en este sentido, los trabajos de investigación acerca de tasas carbonización de de König y Walleij (2000), Collier P.C.R. (1991), White, R.H. (1988), Schaffer, E.L. (1967); Gardner W.D. & Syme D.R. (1991); Pinto Moura E. (2007) o Jiménez Peris F.J. (2006). En cuanto a estudios con uniones, más recientes, son estimables, entre otros, los trabajos de Collier P.C.R. y Buchanan A.H. (2002); La Planche et al (2004) o Fangi A. (2009). Ninguno de ellos aborda uniones carpinteras.

2. 2. Materiales

Se ensayaron uniones carpinteras de tipo cola de milano, de madera de picea laminada, conformadas por los siguientes elementos:

- probetas de madera laminada de píceas, conformando cada una de ellas la sección de viga que recoge a dos viguetas, poseyendo por tanto dos mortajas que reciben a la espiga de la cola de milano de las correspondientes viguetas. Miden 200 mm de ancho x 320 mm de alto x 340 mm de largo (fig. 1)
- probetas de madera laminada de píceas, conformando cada una de ellas el extremo de las viguetas que descansan en las vigas referidas en el punto anterior. Para ello llevan en el extremo mecanizadas las correspondientes espigas en forma de milano. Dimensiones: 100 mm de ancho x 200 mm de alto x 120 mm de largo (fig. 2)
- xilohigrómetro marca Gann, modelo Hydromette RTU 600 [1]
- Horno de laboratorio para el ensayo de materiales contra el fuego. Se trata de un horno modelo HLOILAT 1M3. Sus características principales son las que figuran en [2] (IDETER S. L.)
- Termopares tipo K, con su hardware y software de adquisición de datos.
- Diverso material de ferretería, utilería, carpintería y oficina.

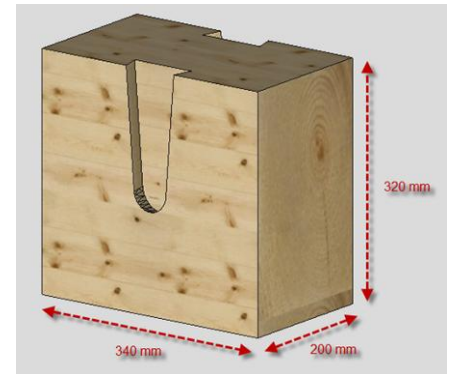


Figura 1 – Viga de cada unión

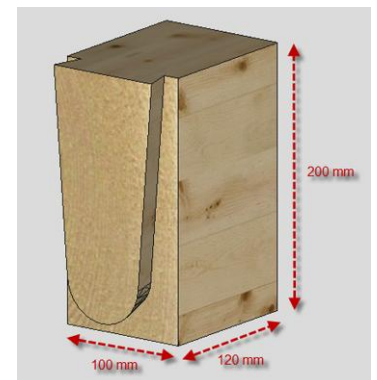


Figura 2 – Vigüeta de cada unión

2. 3. Procedimiento

El protocolo descrito a continuación es el empleado para el ensayo de una unión carpintera de dos elementos “vigüeta” con un elemento “viga”.

En primer lugar se mide la humedad de los 3 elementos que forman la unión. Esta debe ser de aproximadamente el 12 %, con una tolerancia del 10 %.

Se numeran las 3 probetas de madera, rotulándose además las caras de las piezas. Para evitar que la rotulación quede ilegible tras la degradación térmica de las probetas, la rotulación se hace en la cara interior de mortajas y espigas, zonas que no sufrirán dicha degradación.

Se miden las caras superiores de las piezas, marcando en ellas los puntos en los que deben realizarse las perforaciones pertinentes para posteriormente poder introducir, hasta la profundidad adecuada, los termopares que registrarán la temperatura en el entorno de la unión durante el ensayo. Estas marcas son además numeradas (fig. 3)

Empleando el taladro de columna, equipado con una broca para madera de 300 mm de longitud y 2 mm de diámetro, se realizan una serie de perforaciones tal y como se describen en el diagrama siguiente, tanto en la probeta



Figura 3 – Vista general del conjunto a ensayar

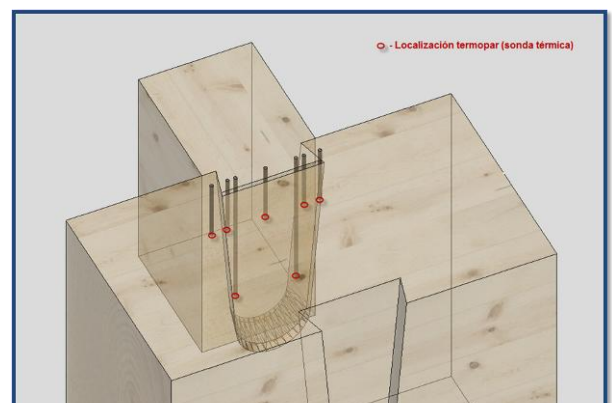


Figura 4 – Localización de los termopares

que contiene las mortajas como en las que poseen las espigas.

Las ubicaciones de cada perforación, así como su profundidad, están elegidas para que los termopares registren las temperaturas que se alcanzan en el entorno de la unión vigueta – viga a lo largo del ensayo. En total se realizan 14 perforaciones, numerándose del 0 al 13. Las perforaciones 0 a 6 en una de las uniones y las perforaciones 7 a 13 en posiciones homólogas de la otra unión.



Figura 5 – Localización de los termopares en sección transversal

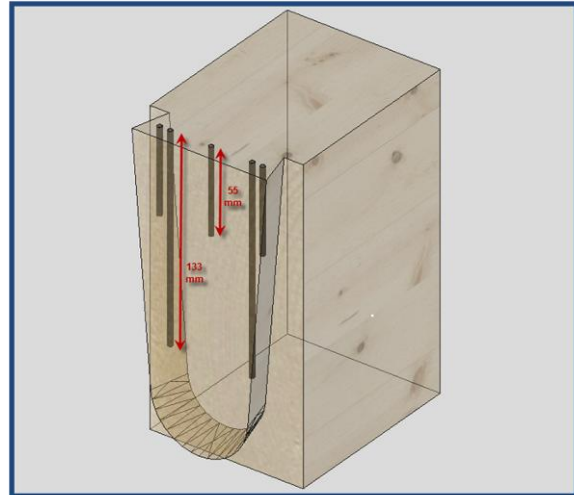


Figura 6 – Localización en profundidad de los termopares y taladros necesarios para ubicarlos

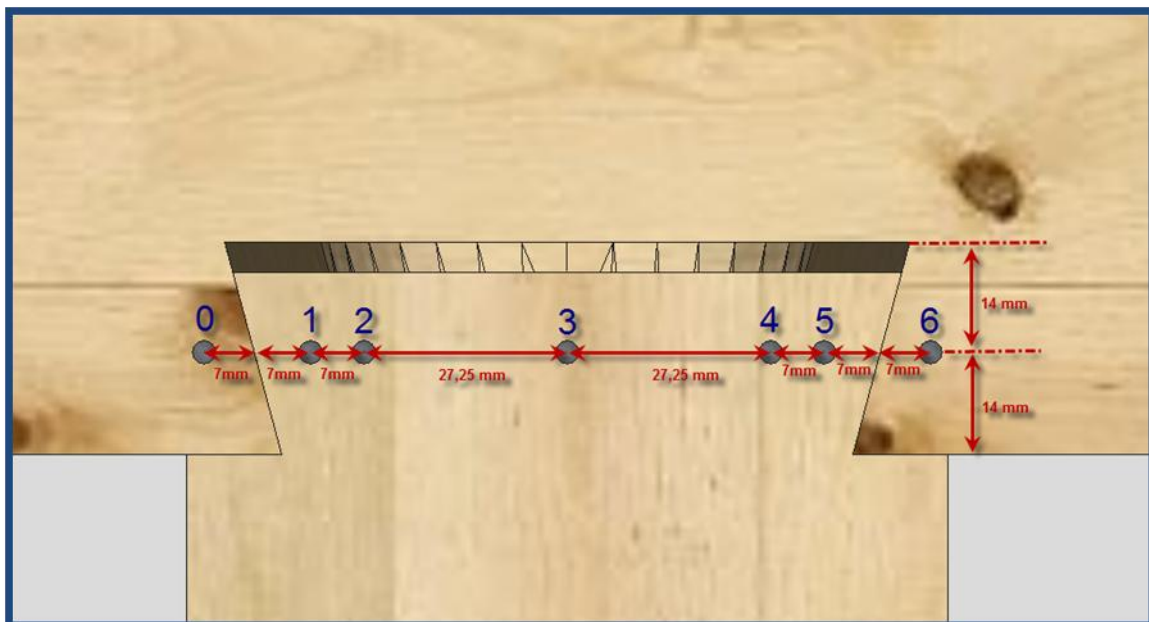


Figura 7 – Localización de los termopares numerados del 0 al 6 (TP0 – TP6).
Vista esquemática en planta de las perforaciones.

Se introduce un termopar en cada uno de los taladros anteriormente realizados. Con un calibre se comprueba que el extremo del termopar esté efectivamente a la profundidad deseada en la probeta (133 ó 55 mm). Los termopares son fijados en su posición con cinta adhesiva. A continuación se cubre la parte superior de las probetas con pasta termoaislante, dado que la simulación pretende ser un ataque térmico a tres caras. Se añade una capa de 3 cm un material termoaislante, que unido a la masa también termoaislante anteriormente aplicada imposibilitarán que las probetas reciban energía mediante transferencia de calor en sus caras superiores:

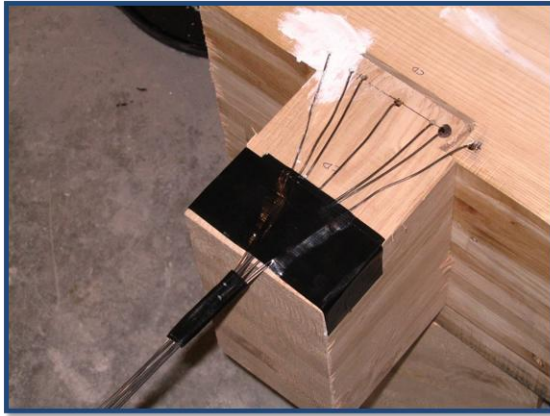


Figura 8 – Termopares en sus posiciones



Figura 9 – Sistema de 3 probetas y 2 uniones lista para ser introducida en el horno

Empleando 4 tirafondos termo resistentes se une al conjunto de las 3 probetas, por su cara superior, una barra metálica termo resistente. Esta barra se suspende de los extremos superiores del horno, de modo tal que el conjunto de probetas queda suspendido en la parte superior del horno. La disposición es la que se observa en las figuras 8 y 9.

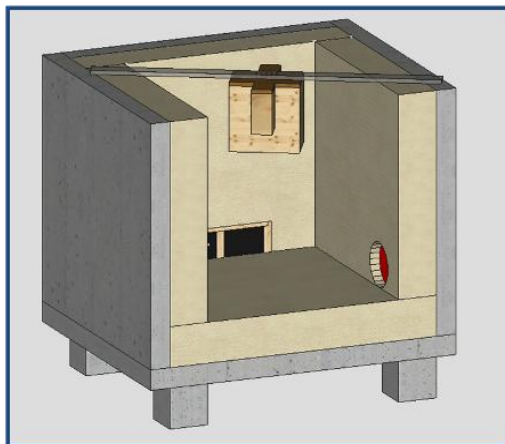


Figura 10 – Esquema de la disposición de las 3 probetas para el ensayo



Figura 11 – Disposición de las 3 probetas en el horno de ensayos

Se conectan los 14 termopares, divididos en dos grupos de 7, al módulo de adquisición de datos. Se enciende el ordenador de adquisición de datos acoplado al citado módulo, y se verifica que se están recibiendo las lecturas de los termopares.

Se cierra el horno acoplado la puerta frontal.

Desde el panel de control del horno, se lanza el programa que simula una carga térmica variable en el tiempo conforme a la norma ISO – 834-1 (1):

$$T = 345 \log (8 \cdot t + 1) + 20 \quad (1)$$

Siendo: T = temperatura del aire en torno a las probetas (°C)
t = tiempo (minutos)

La temperatura del horno es registrada en todo momento por el sensor ubicado 5 cm por debajo del conjunto de probetas. El software compara la temperatura que en cada instante tiene el

horno con la debería tener de acuerdo con la curva anteriormente expuesta, y aplica la carga térmica necesaria para ir recorriendo dicha curva a lo largo del tiempo.

Transcurridos los 30 minutos de ensayos, se apaga el horno. Se detiene el software de adquisición de datos. Se abre la tapa frontal del horno. Con una manguera se aplican chorros de agua al conjunto de probetas para detener la combustión lo más rápidamente posible.

3. Resultados y conclusiones

Los datos recogidos por cada termopar representan la evolución de la temperatura en ese punto a intervalos de 0,1 segundos. Con ello es posible obtener representaciones gráficas del tipo que se observa en la figura 12. Estas relaciones, que constituyen parte de los resultados del presente trabajo, se postulan como punto de partida para investigaciones posteriores.

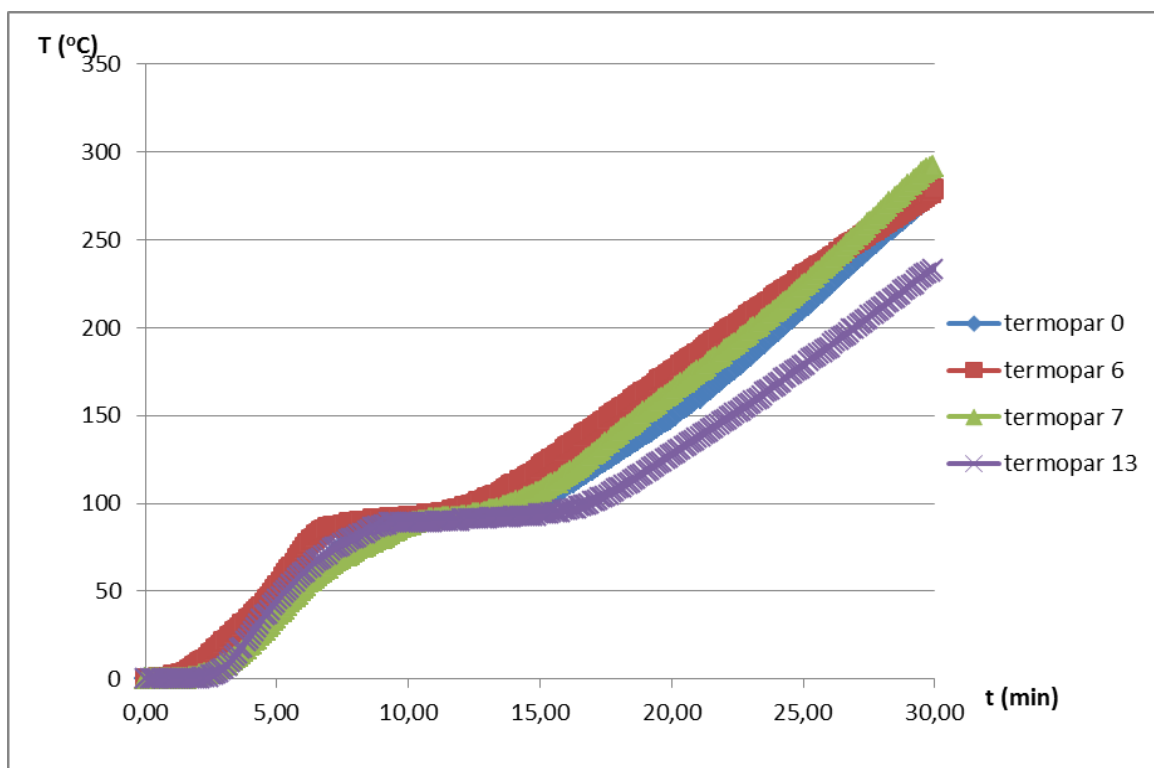


Figura 12 – Evolución tiempo / temperatura en 4 de los termopares

Se puede concluir que la zona de auténtica unión entre la vigueta y la viga no llega a carbonizarse, tal y como confirma la observación de los ensayos. No obstante, serán necesarios ensayos en carga para conocer realmente el comportamiento resistente de la unión en situación de incendio.

Además, los datos obtenidos son la base de los trabajos actuales en los que se está intentando modelizar con elementos finitos el comportamiento de la unión, tal y como se observa en las figuras 13 a 17. En esta última se han ocultado los elementos finitos de temperatura superior a 300°C, y se han representado en color rojo los que tienen precisamente esa temperatura. Se puede observar que el aspecto físico es muy similar a la vigueta real tras el ensayo experimental (fig. 14)



Figura 13 – Vigüeta de la cola de milano antes del ensayo

Ensayo experimental



Figura 14 – Vigüeta de la cola de milano después del ensayo experimental

Modelo de elementos finitos (ensayo virtual)

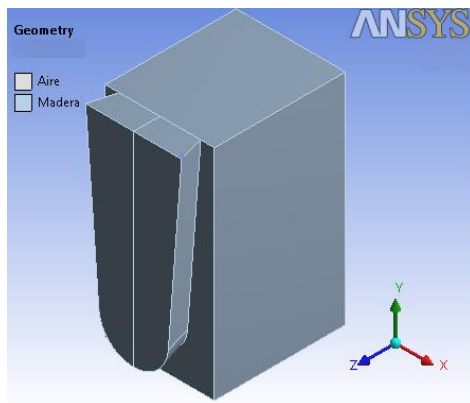


Figura 15 – Vigüeta de la cola de milano antes del ensayo

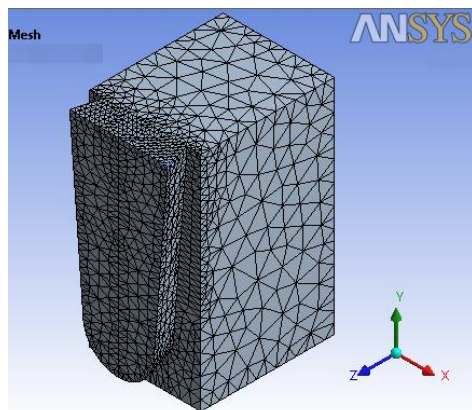


Figura 16 – Vigüeta de la cola de milano mallada por elementos finitos 3D

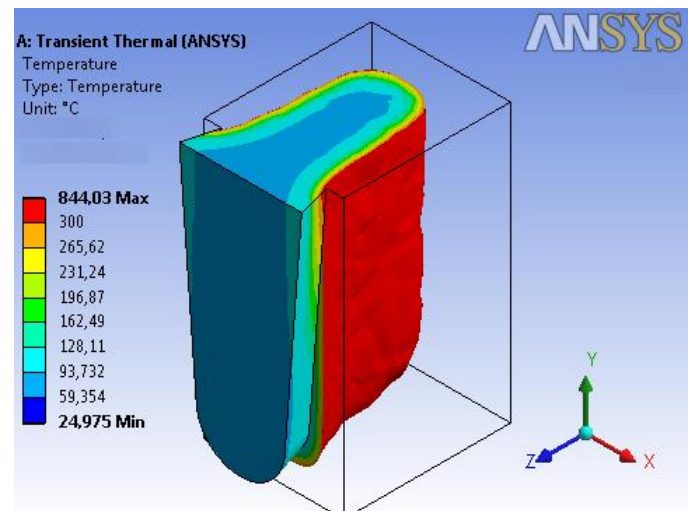


Figura 17 – Vigüeta tras el ensayo virtual



Agradecimentos

Plan Nacional del Ministerio de Ciencia y Tecnología (España), proyecto de investigación AGL2009-11311.

Los autores agradecen el apoyo del centro tecnológico CETEMAS, que aportó el software necesario para poder realizar los modelos numéricos.

Referencias Bibliográficas

- König, J. y Walleij, L; (2000) “*Timber frame assemblies exposed to standard and parametric fires, Part 2: A design model for standard fire exposure*” Trätekt Rapport I 0001001, Estocolmo, Junio 2000
- Collier, P.C.R. (1991) “*Design of Loadbearing Light Timber Frame Walls for Fire Resistance: Part 1*”, BRANZ Study Report SR 36
- White, R.H. (1988), “*Charring Rates of Diferente Wood Species*” PhD Thesis, University of Wisconsin, Madison, USA
- Schaffer, E. L. (1967), “*Charring rate of selected woods – transverse to grain*”, Research Paper FPL-69, USDA Forest Products Laboratory, Madison Wisconsin, USA
- Gardner, W.D.; Syme, D.R. (1991) “*Charred of Glued-Laminated Beams of Eight Australian-Grown Timber Species and the effect of 13mm Gypsum Plasterboard Protection on Their Charring*” Technical Report No. 5, N.S.W. Timber Advisory Council, Ltd. Sydney
- Collier, P.C.R.; Buchanan A.H. (2002) “*Fire Resistance of Lightweight Timber Framed Walls*”, Fire Technology, 38, 125-145
- La Planche, K., D. Dhima, and P. Racher. (2004). “*Predicting the behaviour of dowelled connections in fire: Fire tests results and heat transfer modeling*”. In: Proc. 8th World Conf. on Timber Engineering, WCTE 2004, Lathi, Finland. pp. 335-340.
- Fangi, A.; Erchinger, E. and Fontana M. (2009). “*Experimental fire analysis of steel-to-timber connections using dowels and nails*”
- Moura Pinto, E. et al (2007) “*Estudio teórico-experimental sobre la degradación térmica de vigas de eucalyptus*”. Maderas. Ciencia y Tecnología 9(2) 135-144
- Jiménez Peris, F. J. et al (2006) “*Madera laminada encolada estructural (MLE). Resistencia al fuego y características mecánicas*”. Editorial ABECEDARIO. ISBN 978-84-96560-06-2

Páginas Web

[1] <http://www.gann.de/default.asp?action=products&id=19>

[2] <http://www.ideter.com/index.php?lang=es&go=4&id=26>