

Experimental study on fire resistance of glulam-lightweight concrete composite slabs with inclined crossing screws

Álvarez Rabanal, Felipe Pedro¹; Lozano Martínez-Luengas, Alfonso¹; Alonso Martínez, Mar¹; del Coz Díaz, Juan José¹; Martínez Martínez, Juan Enrique¹

ABSTRACT

Composite slabs made of lightweight concrete and glulam (TLCC) are sustainable and structurally efficient construction elements, since they combine the compressive strength of concrete with the flexural resistance of glulam. However, there is a lack of information in standards and codes about its behavior in fire conditions. The study of its fire resistance represents an innovative contribution that will increase its use in the construction sector. An experimental study following UNE-EN 1363-1:2021 standard was carried out to determine the fire resistance of TLCCs, made with local and northern European woods, joined with inclined crossing screws. During the tests, all the slabs met the integrity and insulation criteria indicated in the standard, bearing capacity being the one that determined their completion. In all cases, test stopped when the deflection speed limit indicated in the standard was exceeded. Once the results were analyzed, it was determined that only TLCC made with Chestnut offers R30 fire protection.

Keywords: Glulam-concrete composite slab, Lightweight concrete, Fire resistance, Local wood, Sustainable construction.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a materiales estructurales utilizados en construcción son una de las principales preocupaciones mundiales. Los materiales primarios más utilizados, acero y hormigón, requieren de enormes cantidades de energía para su producción y son responsables de altas emisiones de carbono [1]. Por ello, gobiernos e instituciones de todo el mundo han puesto en marcha políticas para fomentar el uso de materiales alternativos que supongan un menor impacto ambiental. Entre estos materiales alternativos, la madera aparece como un material natural y renovable, que requiere de muy poca energía para su producción, capaz de producirse localmente, totalmente reutilizable y que puede almacenar CO₂ a lo largo de toda su vida útil [2].

Los forjados mixtos fabricados con elementos de madera y hormigón (TCC), son una solución constructiva en crecimiento en edificaciones realizadas en todo el mundo. Suelen ser construcciones livianas, estructuralmente muy eficientes, en las que el hormigón aporta la rigidez al conjunto y la madera la resistencia sin necesidad de aumentar su peso. Las principales desventajas para su desarrollo son la escasa información acerca de sus propiedades mecánico-resistentes y aislantes en diferentes condiciones de servicio, y que en la normativa actual el comportamiento frente al fuego de los TCCs solamente está contemplado en alguno de los supuestos de cálculo para aquellos fabricados con coníferas (abeto),

¹ Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo (ESPAÑA). alvarezfelipe@uniovi.es (Corresponding author). alozano@uniovi.es. mar@constru.uniovi.es. juanjo@constru.uniovi.es. juanque@constru.uniovi.es.

no para maderas locales (castaño, roble, eucalipto, pino). En el ámbito internacional, destacan diversas investigaciones realizadas sobre el comportamiento mecánico-estructural de los TCCs con hormigones normales y maderas laminadas de coníferas en condiciones de incendio [3,4].

El principal objetivo de este trabajo es avanzar científica y tecnológicamente en el conocimiento de los TCCs para fomentar su aplicación en construcción industrializada. Se propone estudiar la resistencia frente al fuego de TLCCs elaborados con diferentes tipos de vigas de madera laminada encolada (glulam) y hormigón ligero estructural (LWC), unidas con conectores metálicos cruzados. En estudios previos realizados sobre este tipo de forjados [5,6], se llevaron a cabo ensayos de resistencia al deslizamiento, resistencia a flexión y transmitancia térmica. Los resultados obtenidos de los módulos de deslizamiento mostraron un incremento de la resistencia a cortante de los forjados fabricados con maderas locales (pino y castaño) del 43,7% y 28% respectivamente respecto a los fabricados con madera de abeto importada del norte de Europa. En los ensayos de flexión, las losas fabricadas con maderas locales presentaron mayores valores de resistencia a flexión que las de abeto, produciéndose en todas ellas un modo de fallo a cortante en la zona de los conectores de unión mediante la aparición de fisuras longitudinales. Los ensayos de transmitancia térmica sirvieron para demostrar que los conectores metálicos tienen una gran influencia en la variación de la transferencia térmica en la zona de conexión del forjado, por lo que deben tenerse en cuenta en procesos en los que exista transferencia de calor.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñaron y fabricaron 6 especímenes de TLCCs (2 por cada tipo de madera: abeto, castaño y pino) de 2.340 mm de longitud entre apoyos y 1.100 mm de ancho. Se utilizaron conectores metálicos cruzados 45° (240 mm, Ø9 mm) uniendo las vigas de glulam (200x100x2.600 mm) y las losas de LWC (60 mm de espesor). Previamente al hormigonado de las losas, se sensorizó la unión mediante la colocación de cables de termopar tipo K sobre la superficie de las vigas y los conectores metálicos (Fig. 1, izquierda).



Figura 1. Colocación de los conectores y sensorización mediante termopares de las vigas de glulam (izquierda), vista del montaje de probeta en horno de resistencia al fuego (centro) y sección carbonizada de las vigas de glulam después del ensayo de resistencia al fuego (derecha).

Los ensayos de resistencia al fuego se realizaron sobre las 6 probetas colocadas en la parte superior de un horno de resistencia al fuego según UNE-EN 1363-1 (ver Fig. 1, centro). Durante el ensayo se sometió a las losas a una curva de fuego normalizada ISO-834 y se aplicó una carga constante sobre la parte central de la losa (40% de la carga de rotura obtenida en ensayos de flexión a temperatura ambiente).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los ensayos, todas las losas cumplieron con los criterios de integridad y aislamiento indicados en la norma, siendo la capacidad portante la que determinó su terminación. En todos los casos, la prueba se detuvo cuando se superó el límite de velocidad de deflexión indicado en la norma para las dimensiones de las losas ensayadas (2,34 mm/min). En el gráfico de la izquierda de la Fig. 2, se puede observar la evolución de la deformación vertical (Flecha) y de la velocidad de deflexión durante los ensayos realizados sobre cada una de las losas. En la imagen de la derecha de la Fig. 2, se puede comprobar en la vista cenital de uno de los forjados ensayados las líneas de fisuración que generan los esfuerzos cortantes y los gradientes térmicos en la parte superior de las losas de hormigón durante los ensayos. En la imagen de la derecha de la Fig. 1, se puede comprobar la pérdida de sección que se produce en una de las vigas de glulam ensayadas, siendo esta la principal causa que genera el modo de fallo a flexión de este tipo de forjados en condiciones de incendio.

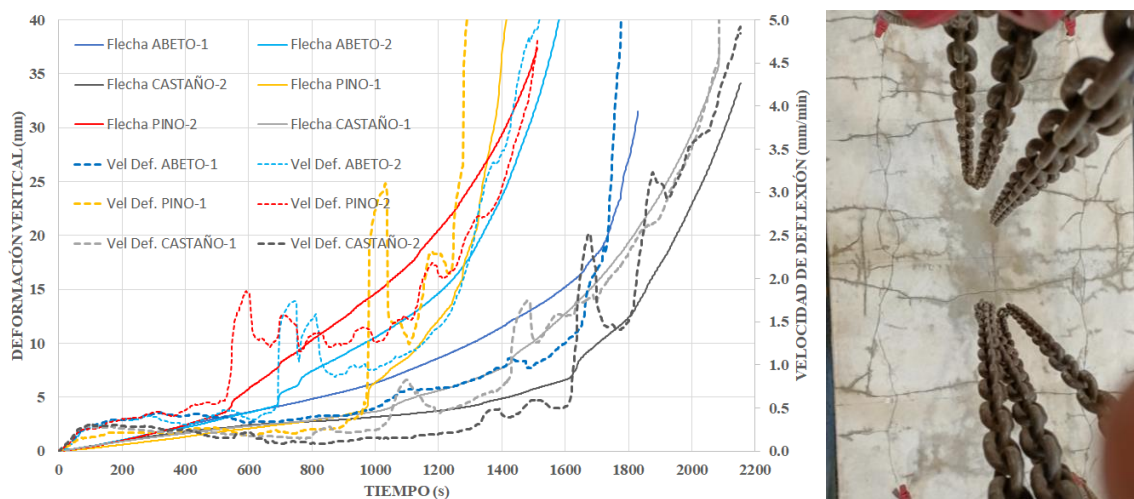


Figura 2. Curvas tiempo-temperatura de los TLCCs durante el ensayo de Resistencia al fuego (izquierda) y fisuración en la parte superior de la losa después del ensayo (derecha).

Como se muestra en la *Tabla 1*, los resultados obtenidos revelaron que los tiempos de resistencia al fuego de los forjados fabricados con madera de pino y abeto (21 y 25 minutos de valor promedio respectivamente) no superaron el valor mínimo R30 que según la normativa se requiere para este tipo de estructuras. Los fabricados con madera laminada encolada de castaño fueron los únicos en los que se superaron los 30 minutos de resistencia al fuego.

Tabla 1. Valores del tiempo de resistencia al fuego de las muestras ensayadas

Muestra	TIEMPO
ABETO-1	28,81 min
ABETO-2	21,74 min
PINO-1	20,77 min
PINO-2	21,23 min
CASTAÑO-1	30,12 min
CASTAÑO-2	30,63 min

4. CONCLUSIONES

Los ensayos de resistencia al fuego de este trabajo suponen un avance en el conocimiento, ya que son comúnmente realizados sobre forjados mixtos fabricados con madera de coníferas y hormigones normales, pero nunca antes se habían llevado a cabo sobre forjados fabricados con maderas locales combinadas con LWC. Los resultados obtenidos indican un mejor comportamiento frente al fuego de los forjados fabricados con la madera local de castaño frente a las importadas, lo que permitirá fomentar el aprovechamiento de recursos autóctonos y estimular la demanda de estos productos, reduciendo así el coste de transporte con la utilización de productos locales (ahorro energético en la logística).

Este estudio supone un avance significativo en la comprensión del comportamiento de este tipo de solución constructiva en condiciones de incendio y pueden servir como base para la mejora de la normativa con la inclusión en los DBs de SI-E y SE-M del comportamiento de los TCCs en condiciones de incendio, que actualmente no se contemplan. En general, el sector de la construcción es el que sufre un mayor impacto con los resultados, lo que puede servir para impulsar su uso por parte de los diferentes actores que lo conforman (arquitectos, ingenieros, empresas constructoras, fabricantes, administraciones o usuarios finales). Otros impactos a tener en cuenta es que el fomento del uso de forjados fabricados con materiales reutilizables y reciclables supone una mejora importante en el ciclo de vida del producto, y que el menor coste estructural debido a su menor peso respecto a otros tipos de forjados convencionales implica un ahorro energético importante en la construcción de edificios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación para el Fomento en Asturias de la Investigación Científica Aplicada y la Tecnología (FICYT) y al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del gobierno de España las ayudas recibidas a través de los proyectos AYUD/2021/51328 y PGC2018-098459-B-I00, ambos financiados con fondos FEDER. También agradecen a las empresas Weber Saint-Gobain y Rothoblass su asesoramiento técnico y la aportación de los materiales necesarios para poder realizar este estudio.

REFERENCIAS

- [1] CEI-Bois. (2014). Tackle Climate Change: build with wood, p. 48. Brussel: The European Confederation of woodworking industries.
- [2] Sathre, R., & O'Connor, J. (2010). A synthesis of research on wood products & Greenhouse gas impacts 2nd Edition, p. 117. Vancouver, BC: FPInnovations (Technical report TR-19R).
- [3] Klippel, M., & Frangi, A. (2017). Experimental and analytical investigation on fire resistance of glulam-concrete composite beams. *Journal of Structural Engineering*, 143(7), 04017052.
- [4] Hao, D., Xiamin, H., Zhong, X., & Yanfei, M. (2021). Fire safety of glued-laminated timber beams in bending. *Journal of Building Engineering*, 44, 103244.
- [5] Martínez-Martínez, J.E., Alvarez Rabanal, F.P., Alonso-Martínez, M., del Coz Díaz, J.J. Comparative analysis of the shear behaviour of glulam timber. In VII International Conference on Technological Innovation in Building (CITE 2022). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- [6] Martínez-Martínez, J.E., Alvarez Rabanal, F.P., del Coz Díaz, J.J., Alonso-Martínez, M. Comparative structural behaviour among timber and steel deck- lightweight concrete composite slabs. In International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering (ICCSEE 2022). Barcelona.