

¿CÓMO INFLUYEN LAS ABERTURAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS EDIFICIOS DE MADERA DURANTE UN INCENDIO?

Lenko Álvarez Briones^a, Jonathan Yáñez^b, Agustin H. Majdalani^c, Wolfram Jahn^c, Juan Carlos Pina^b

^a Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Villanova, Estados Unidos

^b Universidad de Santiago de Chile (USACH), Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Chile

^c Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

El uso de madera masiva en edificios ha aumentado por sus ventajas ambientales frente a los materiales tradicionales. Sin embargo, su comportamiento frente al fuego aún presenta incertidumbres. Una de ellas es la influencia del tamaño y la forma de las aberturas para puertas y ventanas, ya que estas modifican la ventilación del espacio y, con ello, el desarrollo del incendio. Por esta razón, este trabajo estudia cómo dichas aberturas afectan el comportamiento frente al fuego de muros de madera contralaminada (CLT).

Para analizar este problema se utilizó una metodología numérica que combina dos tipos de simulación. Primero, el incendio se reproduce en Fire Dynamics Simulator (FDS), donde se calcula la evolución de las temperaturas en el incendio. Luego, esta información se transfiere a un modelo de elementos finitos en ANSYS para estudiar cómo el calor penetra en el muro y cómo disminuye su capacidad estructural. Los resultados de este estudio fueron publicados por Álvarez et al. en Fire Safety Journal [1].

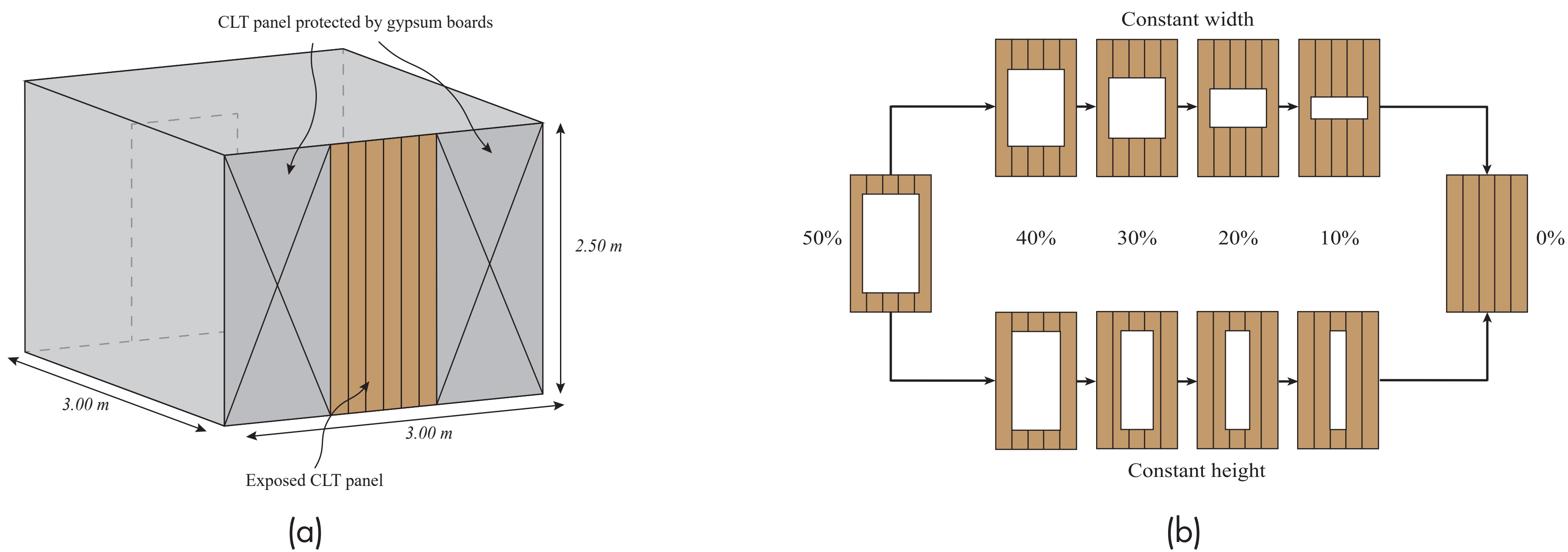


Figure 1: Geometría del compartimiento de estudio: (a) Compartimiento en 3D, y (b) Configuración de aberturas de estudio.

La Figura 1(a) muestra el compartimiento estudiado. El compartimiento está hecho íntegramente de CLT encapsulado o con protección de placas de yeso-cartón excepto 1 muro que se encuentra expuesto o sin protección. En este muro se analizaron diez configuraciones distintas de aberturas, presentadas en la Figura 1(b). El incendio se definió mediante una curva basada en el Eurocódigo, que representa sus etapas de crecimiento, máximo desarrollo y enfriamiento. La madera entra en combustión para temperaturas en el rango de 250 a 300°C, y se carboniza a los 300°C, es por ello por lo que la madera expuesta puede contribuir a la intensidad y duración del incendio. Este aporte se consideró como una curva de incendio adicional mostrada en la figura 2. La figura 2(a): la curva azul representa la condición inicial del incendio, mientras que la curva naranja incluye el aporte de la madera carbonizada. Las Figuras 2(b) y 2(c) muestran, respectivamente, las zonas del muro que superan los 300 °C y la distribución de temperaturas a través del muro durante el incendio para dos configuraciones distintas de aberturas.

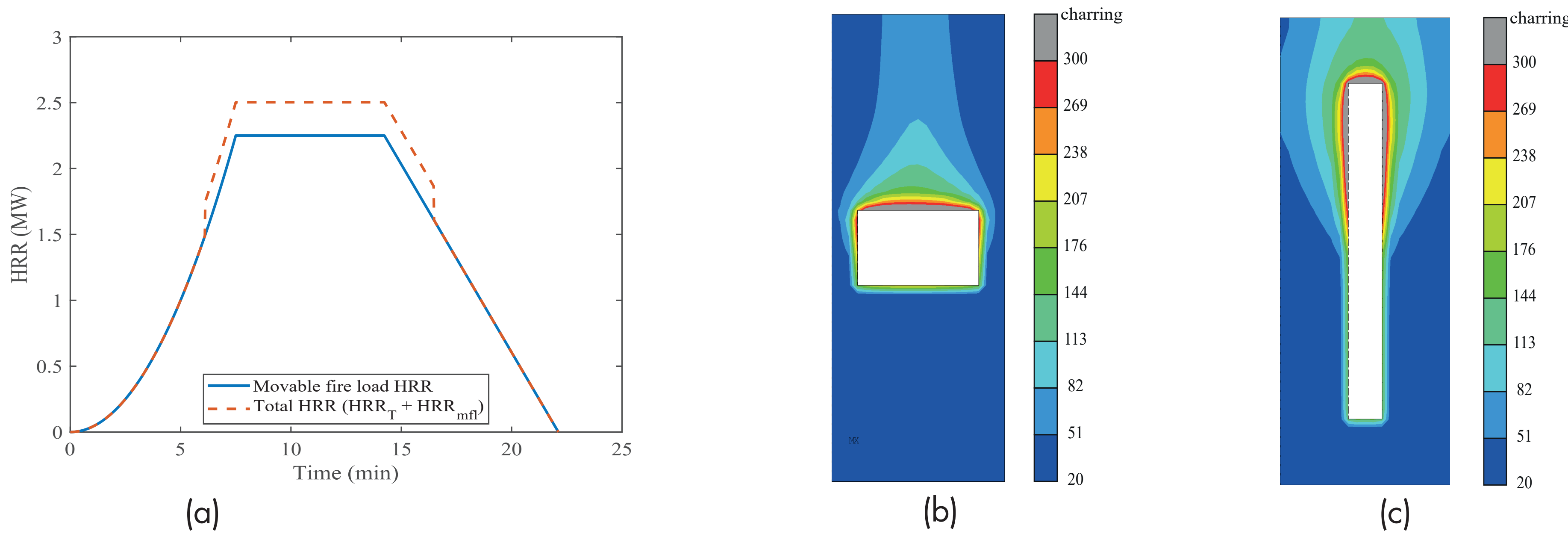


Figure 2: (a) Curva de incendio (b) distribución de temperatura del incendio 10 % ancho constante, (c) distribución de temperatura del incendio 10 % alto constante,

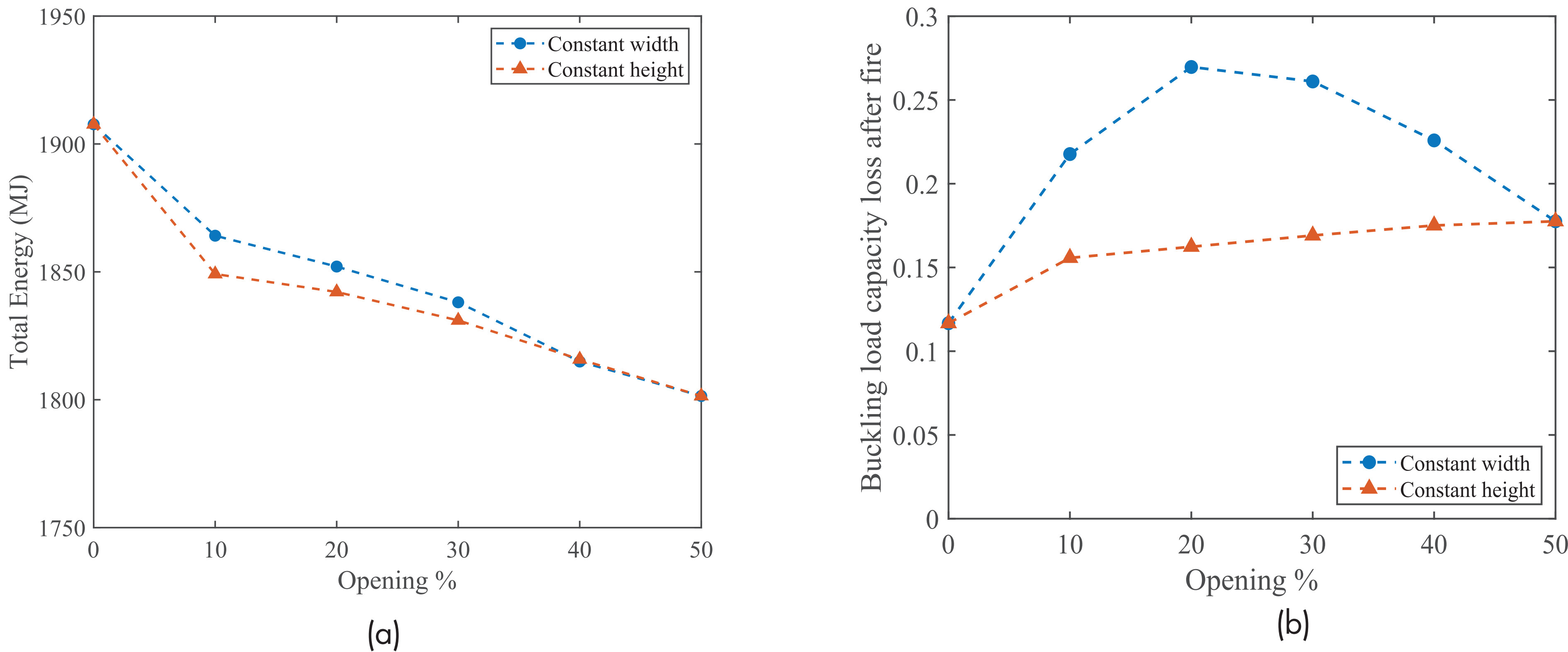


Figure 3: Resultados para las distintas configuraciones de aberturas: (a) intensidad total del incendio y (b) pérdida de capacidad de pandeo de los muros.

La Figura 3(a) muestra que la intensidad total del incendio disminuye a medida que aumenta el tamaño de la abertura. Las aberturas pequeñas dificultan la ventilación del compartimento y favorecen temperaturas más elevadas. Esto aumenta la carbonización de la madera y su contribución al incendio. En cambio, las aberturas grandes mejoran la ventilación y reducen las temperaturas interiores. Las configuraciones de ancho constante del 10 %, 20 % y 30 % mostraron una ventilación menos eficiente. Por esta razón, produjeron una mayor exposición térmica y más carbonización que las aberturas equivalentes de altura constante. Esta diferencia disminuyó al aumentar el tamaño de la abertura y fue casi nula para valores iguales o superiores al 40 %. Finalmente, se evaluó la estabilidad de los muros después del incendio mediante un análisis lineal de pandeo. La Figura 3(b) muestra que las aberturas de ancho constante produjeron una mayor pérdida de capacidad de pandeo que las aberturas de altura constante. Al considerar conjuntamente la temperatura, la ventilación y la respuesta estructural, las configuraciones de altura constante del 10 % y 20 % presentaron el comportamiento global más favorable.

CONCLUSIONES

- La metodología utilizada permitió integrar la dinámica del incendio, la transferencia de calor y la respuesta estructural de los muros de CLT antes y después del fuego.
- El número de capas influye en la estabilidad residual. Para un mismo espesor total, los muros con cinco o más capas presentaron un mejor comportamiento después del incendio.
- El tamaño y la orientación de las aberturas modifican la ventilación, las temperaturas, la carbonización y la pérdida de capacidad de pandeo del muro.
- Las aberturas de ancho constante generaron una mayor pérdida de capacidad de pandeo, mientras que las aberturas de altura constante produjeron variaciones menores en la capacidad del muro.
- Desde una perspectiva aplicada, los resultados demuestran que la geometría de las aberturas no debe considerarse únicamente como una decisión arquitectónica. Su tamaño y orientación afectan directamente el comportamiento frente al fuego y la capacidad estructural residual del muro.
- Esta información puede apoyar decisiones tempranas de diseño, reducir la necesidad de modificaciones posteriores y orientar soluciones de CLT más seguras, eficientes y competitivas para edificaciones de madera masiva.

AGRADECIMIENTOS

L. Álvarez Briones desea reconocer el apoyo financiero proporcionado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID), a través del programa Beca de Magíster Nacional.

J. C. Pina y J. Yáñez desean reconocer el apoyo financiero proporcionado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID), mediante el proyecto FONDECYT N.º 1250979, el proyecto Anillo Tecnológico ACT240015 y la Vicerrectoría de Investigación, Innovación y Creación (VRIIC) de la Universidad de Santiago de Chile (USACH), a través del proyecto GTO-ADM-VRIIC PS1393.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Alvarez Briones, L., Yanez, J., Majdalani, A. H., Jahn, W., & Pina, J. C. (2026). A holistic approach to understanding how openings shape the fire performance and structural response of CLT walls in compartment fires. Fire Safety Journal, 104903.