

Reacción al fuego de madera sólida de *Pinus pseudostrabus* y de tableros de madera enlistonados, contrachapados, de fibra de media densidad y de astillas orientadas: Estudio comparativo del tiempo de ignición y de la pérdida de masa

Javier Ramón Sotomayor Castellanos^{1*}, Israel Macedo Alquicira¹, Ernesto Mendoza González¹, Gerardo Gallegos León¹

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México

* Autor de correspondencia / Corresponding Author, e-mail: madera999@yahoo.com

Reaction to fire of solid wood of *Pinus pseudostrabus* and of slatted boards, plywood, medium-density fiberboards and oriented strand boards: Comparative study of ignition time and mass loss

Abstract

Wood and wood boards that are part of the structure and/or furniture of buildings, in case of fire, contribute to the spread of fire. The objective of the research was to determine the ignition time and mass loss based on indicative fire reaction tests on *Pinus pseudostrabus* specimens, slatted boards, plywood, medium density fiberboard and oriented strand boards. 35 small specimens of each material were prepared and their moisture content and density were calculated. Fire reaction tests were carried out and the ignition time and mass loss were determined. Density increases in the following order: slatted boards, plywood, *P. pseudostrabus*, medium density fiberboard, and oriented strand board. It was concluded that comparatively, the ignition time of the slatted and medium density are similar and the shortest; the time corresponding to plywood is close to that of *P. pseudostrabus* wood; and the ignition time of oriented chip board is the longest. The mass loss of *P. pseudostrabus* wood is lower compared to that of plywood and oriented chip boards. The mass loss of medium density fiberboard and slatted boards is higher and similar to each other. For the four wooden boards studied, as their ignition time increases, their mass loss decreases.

Keywords: wood combustion, wooden buildings, wooden furniture, fire, moisture content, density.

Resumen

La madera y los tableros de madera que forman parte de la estructura y/o mobiliario de edificaciones, en caso de incendio, contribuyen a la expansión del fuego. El objetivo de la investigación fue determinar el tiempo de ignición y la pérdida de masa basado en ensayos indicativos de reacción al fuego en probetas de *Pinus pseudostrabus*, tableros enlistonados, contrachapados, de media densidad y de astillas orientadas. Se



Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /
Edited by:
Eva O.L. Lantsoght

Recibido /
Received:
25/10/2022

Aceptado /
Accepted:
27/03/2023

Publicado en línea /
Published online:
15/05/2023



prepararon 35 probetas de pequeñas dimensiones de cada material y se calculó su contenido de humedad y su densidad. Se realizaron pruebas de reacción al fuego y se determinó el tiempo de ignición y la pérdida de masa. La densidad aumenta en el orden siguiente: tableros enlistonados, tableros contrachapados, *P. pseudostrabus*, tableros de media densidad y tableros de astillas orientadas. Se concluye que comparativamente, el tiempo de ignición de los enlistonados y de media densidad son similares y los más cortos; el tiempo correspondiente a los contrachapados es cercano al de la madera de *P. pseudostrabus*; y el tiempo de ignición de los tableros de astillas orientadas es el más largo. La pérdida de masa de la madera de *P. pseudostrabus* es menor comparativamente con la de los tableros contrachapados y de astillas orientadas. La pérdida de masa de los tableros de fibra de media densidad y enlistonados es mayor y similar entre sí. Para los cuatro tableros de madera estudiados, a medida que su tiempo de ignición aumenta, su pérdida de masa disminuye.

Palabras clave: combustión de la madera, edificaciones de madera, mobiliario de madera, incendio, contenido de humedad, densidad.

INTRODUCCIÓN

La madera y los tableros de madera forman parte de la estructura y/o mobiliario de edificaciones y, en caso de incendio, contribuyen a la expansión del fuego. No obstante, mediante la aplicación de sustancias que reducen la ignición es posible mejorar el comportamiento al fuego de la madera [1].

La combustibilidad de la madera es una de las principales razones por la que los reglamentos de construcción restringen su uso como material de construcción. Actualmente, los sistemas de detección de humo y rociadores de agua, así como los equipos contra incendios, permiten el uso seguro de la madera en un amplio campo de aplicaciones [2]. La reacción al fuego de un material hace referencia a su respuesta a un ataque inicial de fuego e incluye propiedades como la propagación de la llama, la tasa de liberación de calor y la producción de humo [3]. Estas características son relevantes al inicio del desarrollo de un incendio que es la etapa en la que los productos combustibles pueden contribuir a su propagación.

La determinación de las características de reacción al fuego de madera y de productos derivados está regida por la normalización [4]. Las principales características a determinar son: tasa de liberación de calor, índices de oxígeno límite, de inflamabilidad y de estabilidad térmica, toxicidad, propagación de la llama, tiempo de ignición y pérdida de masa [5].

El tiempo de ignición de la madera es el lapso requerido para establecer la flama sostenida en la superficie de una muestra expuesta a un flujo de calor incidente. Mientras más largo es el tiempo de ignición de un material, es menos inflamable [4,6]. Por su parte, la pérdida de masa se considera como un criterio de ignición de la madera, ya que revela la cantidad de productos gaseosos durante la pirólisis. Si una pieza de madera pierde poca masa al inicio de estar expuesta al fuego, esto indica que esta especie es resistente al fuego [7,8].



La madera sólida de *Pinus pseudostrabus* y los tableros enlistonados, contrachapados, de fibra de media densidad y de astillas orientadas son ampliamente utilizados en la industria del mueble [9,10] y de la construcción [11-13]. Estos materiales pueden constituirse como combustible en condiciones de incendio. De tal forma, que para utilizarlos de manera segura es necesario caracterizar experimentalmente su comportamiento al contacto con el fuego [14-16].

Las características tecnológicas y aplicaciones industriales de estos materiales están publicadas en la guía para la madera de ingeniería [17] y en el manual de la madera [18]. El comportamiento de la madera sólida ante el fuego está reportado en [19,20]. Igualmente, existe información sobre la resistencia y/o la reacción al fuego de elementos estructurales de madera [21,22] y los compuestos de madera-plástico [23,24]. La caracterización del comportamiento al fuego de tableros de madera está documentada por [5, 25].

La literatura reporta principalmente dos clases de pruebas de reacción al fuego: las de descomposición térmica y las de calorimetría [4]. Otros autores configuran pruebas adaptadas a sus objetivos de investigación [21,26]. De tal forma que los corolarios son particulares a cada material y diseño experimental, haciendo difícil la generalización de indicadores o criterios para la comparación de resultados. Igualmente, en la literatura están publicados datos empíricos de pruebas de caracterización, reacción y resistencia al fuego de tableros de madera [14,27,28].

Con todo, la revisión bibliográfica no identificó estudios comparativos que proporcionen tiempos de ignición y porcentajes de pérdida de masa. El objetivo de la investigación fue determinar el tiempo de ignición y la pérdida de masa en pruebas de reacción al fuego en probetas de *P. pseudostrabus*, tableros enlistonados, contrachapados, de media densidad y de astillas orientadas. Para lograr el carácter comparativo de la investigación se realizaron las pruebas en las mismas condiciones de ensayo y se procuró minimizar la variación de factores que alteraran los resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se adquirieron piezas de madera aserrada de *Pinus pseudostrabus* (pino) y tableros enlistonados (TE), contrachapados (TC), de media densidad (TMD) y de astillas orientadas (TAO) y se prepararon 35 probetas de cada tipo de material con dimensiones 150 mm de ancho × 150 mm de largo. El espesor de las probetas de *P. pseudostrabus* fue de 20 mm, el de los tableros enlistonados de 17,5 mm, el de los contrachapados y de fibras de media densidad fue de 18 mm y el de los tableros de astillas orientadas fue de 16 mm. Las probetas se almacenaron en una cámara de acondicionamiento con temperatura de 20 °C y humedad relativa del aire de 65 % hasta que su peso fue constante. El contenido de humedad de las probetas se evaluó con la diferencia de pesos al momento del ensayo y en estado anhidro [12]. La densidad se determinó con la relación del peso/volumen de las probetas [12].

Los factores experimentales que afectan el tiempo de ignición y la pérdida de peso de los tableros de madera son: el espesor y la densidad del material del tablero, la densidad de flujo de calor radiante y la distancia de los tableros a la fuente de calor radiante [29]. En

este sentido, se controló la variación del espesor de las probetas, así como el flujo de calor empleando un mechero de laboratorio con una distancia de 90 mm de altura entre la boca del mechero y la superficie de contacto de la flama con las probetas (Fig. 1).

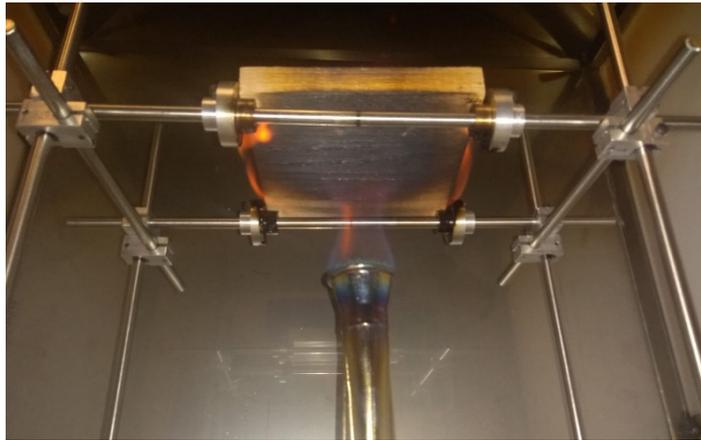


Figura 1. Pruebas de reacción al fuego. Probeta de tablero de fibra de media densidad

Las pruebas de reacción al fuego consistieron en exponer durante cinco minutos una cara de las probetas a una flama de un mechero con regulación de aire y de gas, quemador de 30 mm de diámetro y temperatura máxima de 1300 °C (Fig. 1). Se midió el tiempo necesario para que tres superficies de la probeta mostraran una flama durante al menos cinco segundos y se definió como el tiempo de ignición (t_{ign}). La pérdida de masa de la probeta (Δm) se calculó con la proporción entre su peso inicial antes de su exposición al fuego y su peso final después de cinco minutos de exposición [26].

Diseño experimental

Las variables de repuesta fueron el tiempo de ignición (t_{ign}) y la pérdida de masa (Δm) medidos en los cinco tipos de material (pino, TE, TC, TMD, TAO). La densidad (ρ_{CH}) y el contenido de humedad (CH) fueron variables de referencia. Se calcularon la media (μ), la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (CV). Se realizaron pruebas de normalización de la distribución de los datos con el criterio de demarcación de aceptar una distribución normal si el sesgo estandarizado (SE) y el apuntamiento estandarizado (AE) resultaban al interior del intervalo $[-2 < SE, AE < +2]$. Se realizaron pruebas de verificación de varianza de Levene para evaluar la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de los cinco niveles (tipos de material) son iguales. El criterio de demarcación fue considerar un valor $P_{(\alpha=0,05)} < 0,05$, para considerar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95 % de confianza. Los resultados de las pruebas de normalidad y de Levene condujeron a la realización de pruebas de Kruskal-Wallis (K-W) para comparar las medianas en lugar de las medias.

RESULTADOS

El periodo de tiempo de exposición al fuego (de cinco minutos) fue suficiente para alcanzar el tiempo de ignición de las probetas de los cinco materiales. Igualmente, el tiempo de exposición fue adecuado para provocar la combustión de los materiales y provocar una pérdida de masa. La Fig. 2 muestra el antes y el después de las pruebas de reacción al fuego tanto de las probetas de pino como las de los tableros. Las probetas se carbonizaron principalmente en la cara expuesta a la flama. Su forma plana se contrajo y se curvó de manera cóncava respecto a la exposición de la flama.



Pino (*Pinus pseudostrobus*)



TE (Tableros enlistonados)



TC (Tableros contrachapados)



TMD (Tableros de media densidad)



TAO (Tableros de astillas orientadas)

Figura 2. Probetas de pino y de tableros antes y después de las pruebas de reacción al fuego

Los resultados de las pruebas estadísticas muestran distribuciones normales de los datos del tiempo de ignición y de la pérdida de masa (Tabla 1). Caso diferente es el sesgo estandarizado del tiempo de ignición de los tableros de astillas orientadas, el cual se sitúa fuera del rango requerido por el criterio de demarcación [-2 a +2]. Este resultado indica la no normalidad significativa en los datos, lo cual viola el supuesto de que provienen de distribuciones normales. Asimismo, las pruebas de verificación de varianza mostraron que el valor $P_{(\alpha=0,05)}$ es menor que 0,05, lo que implica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95 % de confianza. Estos resultados contravienen al supuesto de que las desviaciones estándar son iguales. En consecuencia, se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis (K-W) para comparar las medianas en lugar de las medias.

Tabla 1. Resultados de las pruebas estadísticas

Material	SE	AE	Levene	K-W
	[-2, +2]	[-2, +2]	$P_{(\alpha=0,05)}$	$P_{(\alpha=0,05)}$
Tiempo de ignición (t_{ign})				
<i>Pinus pseudostrobus</i>	-0,201	-1,082	< 0,001*	< 0,001*
Tableros enlistonados	-1,034	1,395		
Tableros contrachapados	0,891	-1,239		
Tableros de media densidad	0,618	-0,342		
Tableros de astillas orientadas	2,658	1,174		
Pérdida de masa (Δm)				
<i>Pinus pseudostrobus</i>	-0,556	-0,649	< 0,001*	< 0,001*
Tableros enlistonados	-1,683	-0,465		
Tableros contrachapados	0,119	-0,027		
Tableros de media densidad	-1,261	-1,363		
Tableros de astillas orientadas	0,683	0,514		

SE = Sesgo estandarizado; AE = Apuntamiento estandarizado; Levene = Prueba de verificación de varianza; K-W = Prueba de comparación de medianas de Kruskal-Wallis; t_{ign} = Tiempo de ignición en segundos; Δm = Pérdida de masa en porcentaje; * $P_{(\alpha=0,05)} < 0,05$: Existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95 % de confianza.

El contenido de humedad de los materiales varía entre 10 % y 12 % y sus coeficientes de variación van de 3,6 % a 8,1 % (Tabla 2). Estos datos indican que el *P. pseudostrobus* y los tableros se estabilizaron al contenido de humedad en equilibrio, de tal forma que este parámetro no influyó en los resultados. La densidad aumenta en el orden siguiente: tableros enlistonados, tableros contrachapados, *P. pseudostrobus*, tableros de media densidad y tableros de astillas orientadas (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de humedad, densidad, tiempo de ignición y pérdida de masa de madera de *Pinus pseudostrobus* y de tableros de madera

	CH	ρ_{CH}	t_{ign}	Δm
	(%)	($kg\ m^{-3}$)	(s)	(%)
<i>Pinus pseudostrobus</i>				
μ	11	528	112	19
σ	0,62	40	12	2,2
CV	(5,7)	(7,5)	(10,9)	(11,7)
Tableros enlistonados				
μ	12	319	58	33
σ	0,84	37	3	6,2
CV	(7,2)	(11,6)	(4,8)	(19,1)

	CH	ρ_{CH}	t_{ign}	Δm
	(%)	($kg\ m^{-3}$)	(s)	(%)
Tableros contrachapados				
μ	11	505	112	27
σ	0,62	15	5	3,5
CV	(5,4)	(2,9)	(4,1)	(12,9)
Tableros de media densidad				
μ	10	634	83	32
σ	0,37	6	4	3,7
CV	(3,6)	(0,9)	(4,4)	(11,6)
Tableros de astillas orientadas				
μ	10	696	122	30
σ	0,84	38	6	1,6
CV	(8,1)	(5,4)	(4,9)	(5,4)

CH = Contenido de humedad; ρ_{CH} = Densidad; t_{ign} = Tiempo de ignición; Δm : Pérdida de masa; μ = Media; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación en por ciento y entre paréntesis.

Para la madera sólida, el tiempo de ignición aumenta con la densidad de la madera [30]. Sin embargo, no es el caso para los tableros de madera: el tiempo de ignición de los enlistonados y de media densidad son similares y los más cortos; el tiempo correspondiente a los contrachapados es cercano al de la madera de *P. pseudostrabus*; y el tiempo de ignición de los tableros de astillas orientadas es el más largo. Comparativamente a la madera sólida de *P. pseudostrabus*, los tableros enlistonados y de media densidad se encienden más rápido, los contrachapados se encienden en un tiempo similar y los tableros de astillas orientadas tardan más en encenderse (Tabla 2).

La pérdida de masa de la madera de *P. pseudostrabus* es menor comparativamente con la de los tableros contrachapados y de astillas orientadas (Tabla 2) y la pérdida de masa de los tableros de fibra de media densidad y enlistonados es mayor y similar entre sí. El coeficiente de variación es mayor para los tableros enlistonados y mínimo para los de astillas orientadas. Así, los datos de la pérdida de masa se agrupan de acuerdo al tipo de material (Fig. 3). De tal forma, que la correlación del tiempo de ignición en función de la densidad es nula ($\Delta m = -0,002 \rho_{CH} + 29,4$ con $R^2 < 0,01$).

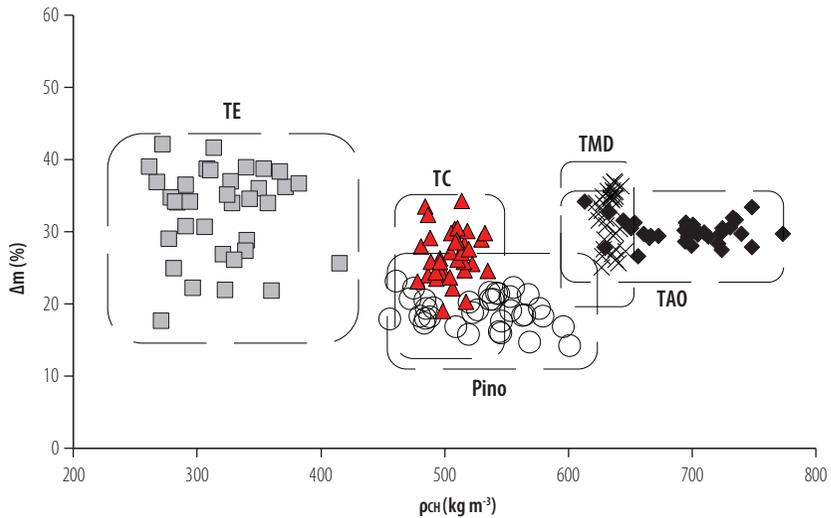


Figura 3. Dispersión de la pérdida de masa (Δm): Pino = *P. pseudostrabus*; TM = Tableros enlistonados; TC = Tableros contrachapados; TMD = Tableros de media densidad; TAO = Tableros de astillas orientadas

DISCUSIÓN

El coeficiente de variación del tiempo de ignición de *Pinus pseudostrabus* es mayor 60 % en promedio con respecto a los cuatro tipos de tableros. Sin embargo, son del mismo orden de los coeficientes de variabilidad del tiempo de ignición reportados por Sotomayor y Ávila [31]: para *Spathodea campanulata* (Tulipán africano) 36 %, para *Fraxinus americana* (Fresno blanco) 14 % y para *Albizia plurijuga* (Tepehuaje) 16 %. Los datos del tiempo de ignición de todas las probetas se agrupan de acuerdo al tipo de material en cuestión (Fig. 4). De tal forma, que la correlación del tiempo de ignición en función de la densidad es baja ($t_{ign} = 0,121 \rho_{CH} + 32,8$ con $R^2 = 0,43$). Estos resultados sugieren que los tableros de madera disminuyen la variabilidad de la madera para encenderse lo cual resulta en una mejora tecnológica, particularmente los tableros contrachapados y los de astillas orientadas que tienen tiempos de ignición similares a los de la madera sólida, pero con variaciones menores.

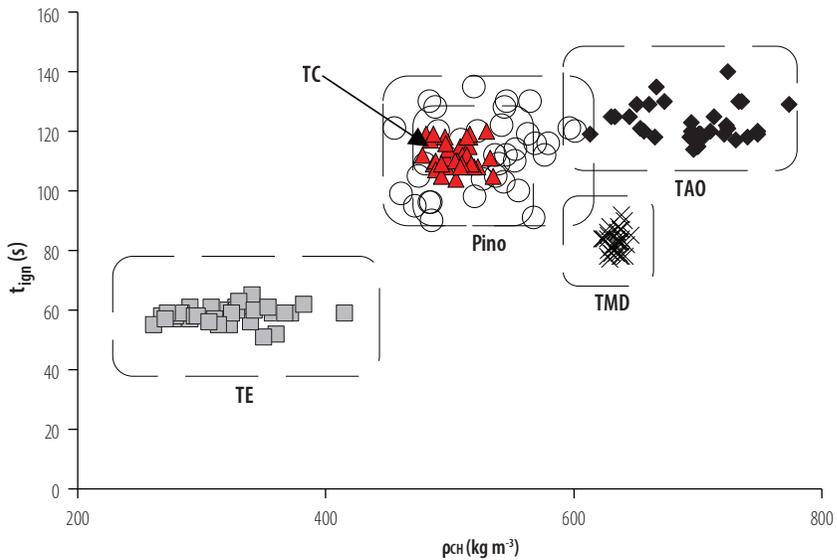


Figura 4. Dispersión del tiempo de ignición (t_{ign}): Pino = *P. pseudostrabus*; TM = Tableros enlistonados; TC = Tableros contrachapados; TMD = Tableros de media densidad; TAO = Tableros de astillas orientadas

La composición química de la madera sólida de *P. pseudostrabus* está constituida por la matriz ligno-celulósica. Su estructura anatómica está conformada principalmente por traqueidas, de diferentes espesores y lúmenes, agrupadas en capas de crecimiento.

Esta composición y estructura básica se reproducen en los tableros de madera, pero su configuración original se modifica en un material de madera reconstituida en el que varía el tamaño y acomodo de sus componentes, los cuales están aglutinados por un adhesivo incorporado [32-34].

Los tableros enlistonados están compuestos por paralelepípedos de madera sólida cubiertos por una delgada placa también de madera; todos pegados con un adhesivo artificial; mientras que los tableros contrachapados están formados por capas delgadas de madera y acomodadas de forma ortogonal e igualmente aglutinadas con pegamento artificial. Por su parte, los tableros de media densidad están formados por fibras de madera aglomeradas con un adhesivo agregado y, finalmente, los tableros de astillas orientadas son similares a los de media densidad, pero en este caso el tamaño de partículas es el de astillas de madera. De tal forma que, en ausencia de un agente protector y en las mismas condiciones de exposición al fuego, las diferencias en el tiempo de ignición y en la pérdida de masa de los tableros son atribuibles a las distintas configuraciones en la estructura y el acomodo de cada uno de sus componentes.

Dado que en las pruebas el tiempo de exposición es fijo (cinco minutos), la velocidad de la pérdida de masa se puede estimar a partir de la pérdida de masa. Los cuatro tipos de tableros pierden más rápidamente masa que la madera de *P. pseudostrabus* (Fig. 5). Además, se observa una correlación de intensidad media ($R^2 = 0,56$) en la disminución de la pérdida de masa a medida que el tiempo de ignición de los tableros aumenta (Fig. 6).

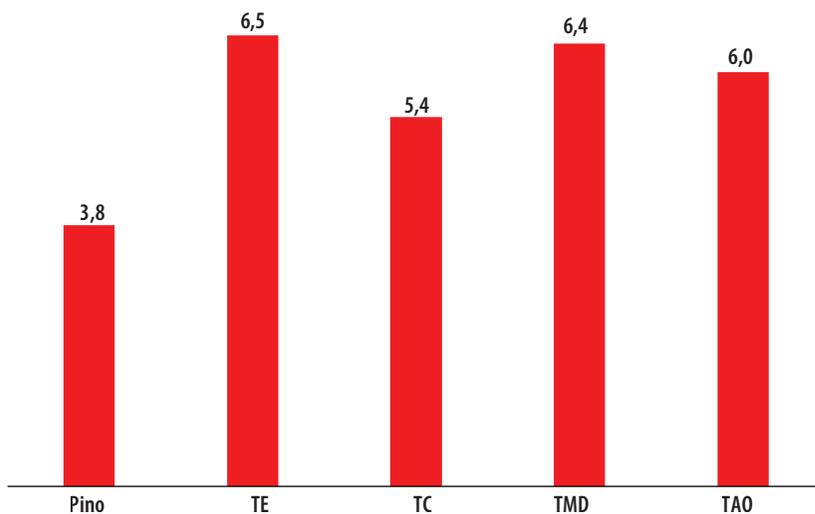


Figura 5. Velocidad de pérdida de masa (% s⁻¹). Pino = *P. pseudostrobus*; TM = Tableros enlistonados; TC = Tableros contrachapados; TMD = Tableros de media densidad; TAO = Tableros de astillas orientadas

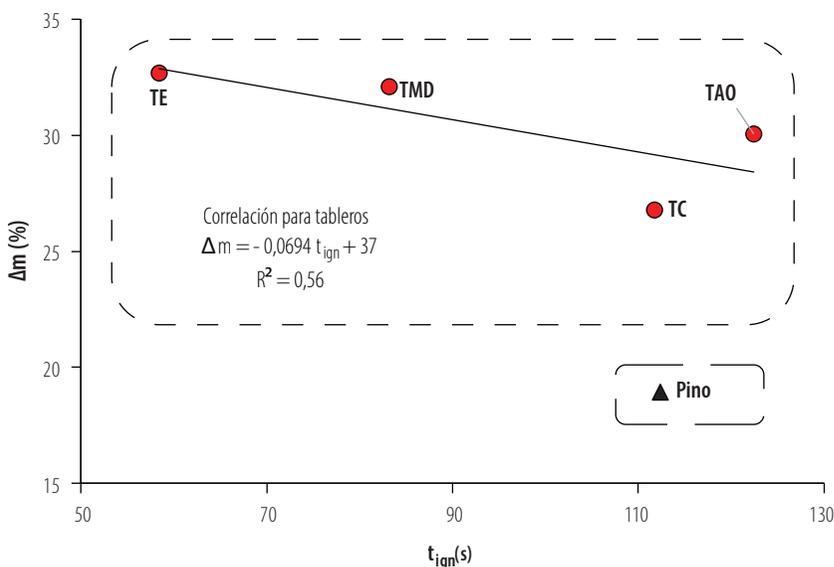


Figura 6. Correlación de la pérdida de masa (Δ) en función del tiempo de ignición (t_{ign}) de los tableros y su comparativo con la pérdida de masa de la madera sólida de *P. pseudostrobus* (Pino). TM = Tableros enlistonados; TC = Tableros contrachapados; TMD = Tableros de media densidad; TAO = Tableros de astillas orientadas

CONCLUSIONES

La investigación determinó el tiempo de ignición y la pérdida de masa de madera sólida de *Pinus pseudostrobus* y de tableros enlistonados, contrachapados, de fibra de media densidad y de astillas orientadas.

El tiempo de ignición de la madera sólida de *P. pseudostrobus* es mayor que el de los tableros y no aumenta proporcionalmente con su densidad. En sentido diferente, la pérdida de masa de *P. pseudostrobus* es menor que la de los tableros y no disminuye a medida que su densidad se incrementa. En consecuencia, comparativamente con los tableros, la madera sólida de *P. pseudostrobus* reacciona mejor al fuego.

Para los cuatro tableros de madera estudiados, a medida que su tiempo de ignición aumenta, su pérdida de masa disminuye. De tal forma que, respecto a su reacción al fuego, estos dos parámetros son indicadores de la calidad de un tablero.

AGRADECIMIENTOS

La investigación fue patrocinada por la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron de igual manera en la concepción de la investigación, en la adquisición y análisis de datos y en la redacción del manuscrito.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en el presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Grexa, O. y Lübke, H. (2001). Flammability parameters of wood tested on a cone calorimeter. *Polymer Degradation and Stability*, 74(3), 427–432. doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00181-1](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00181-1)
- [2] Östman, B. A. L. (2017). Fire performance of wood products and timber structures. *International Wood Products Journal*, 8(2), 74–79. doi: <https://doi.org/10.1080/20426445.2017.1320851>
- [3] Chorlton, B. y Gales, J. (2019). Fire performance of cultural heritage and contemporary timbers. *Engineering Structures*, 201, 109739. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109739>
- [4] Lowden L. A. y Hull, T. R. (2013). Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews*, 2, 4. doi: <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-4>
- [5] Popescu, C. M. y Pfriem, A. (2020). Treatments and modification to improve the reaction to fire of wood and wood based products—An overview. *Fire and Materials*, 44(1), 100–111. doi: <https://doi.org/10.1002/fam.2779>
- [6] Kuznetsov, V. T. y Fil'kov, A. I. (2011). Ignition of Various Wood Species by Radiant Energy. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 47(1), 65–69. doi: <https://doi.org/10.1134/S0010508211010096>
- [7] Emberley, R., Do, T., Yim, J. y Torero, J. L. (2017). Critical heat flux and mass loss rate for extinction of flaming combustion of timber. *Fire Safety Journal*, 91, 252–258. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.008>
- [8] Zhaia, C., Gong, J., Zhou, X., Peng, F. y Yang, L. (2017). Pyrolysis and spontaneous ignition of wood under time-dependent heat flux. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 125, 100–108. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2017.04.013>
- [9] Rebollar, M., Pérez, R. y Vidal, R. (2007). Comparison between oriented strand boards and other wood-based panels for the manufacture of furniture. *Materials and Design*, 28(3), 882–888. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.10.012>
- [10] Ye, H., Wang, Y., Yu, Q., Ge, S., Fan, W., Zhang, M., Huang, Z., Manzo, M., Cai, L., Wang, L. y Xia, C. (2022). Bio-based composites fabricated from wood fibers through self-bonding technology. *Chemosphere*, 287, 132436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132436>
- [11] Aicher, A., Reinhardt, H. W. y Garrecht, H. (Eds.) (2014). *Materials and Joints in Timber Structures*. Dordrecht: Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7811-5>
- [12] Borgström, E. (2016). *Design of timber structures. Structural aspects of timber construction. Volume 1*. Stockholm: Swedish Forest Industries Federation. Swedish Wood. Recuperado de: <https://www.swedishwood.com/siteassets/5-publikationer/pdf/design-of-timber-structures-1-2016.pdf>
- [13] Jacob, M., Harrington, J. y Robinson, B. (2018). *The Structural Use of Timber - Handbook for Eurocode 5: Part 1-1*. Dublin: COFORD, Department of Agriculture, Food and the Marine. Recuperado de: <http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/TimberHandbook5Part130418.pdf>
- [14] Osvaldova, L. M., Markert, F. y Zelinka, S. L. (Eds.). (2020). *Wood & Fire Safety*. Cham: Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7>
- [15] Fu, F. (2021). *Fire Safety Design for Tall Buildings*. Florida: CRC Press.
- [16] Aseeva, R., Serkov, B. y Sivenkov, A. (2014). *Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings*. Dordrecht: Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7460-5>
- [17] The Engineered Wood Association. (2019). *Engineered Wood. Construction Guide*. Tacoma: APA-The Engineered Wood Association. Recuperado de: <https://www.apawood.org/>
- [18] Forest Products Laboratory. (2021). *Wood handbook—wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-282*. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Recuperado de: https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr282/fpl_gtr282.pdf
- [19] Ali, S., Hussain, S. S. y Tohir, M. Z. M. (2019). Fire Test and Effects of Fire Retardant on the Natural Ability of Timber: A Review. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 27(2), 867–895. Recuperado de: [http://www.pertanika2.upm.edu.my/resources/files/Pertanika%20PAPERS/JST%20Vol.%2027%20\(2\)%20Apr.%202019/21.%20JST%201210-2018.pdf](http://www.pertanika2.upm.edu.my/resources/files/Pertanika%20PAPERS/JST%20Vol.%2027%20(2)%20Apr.%202019/21.%20JST%201210-2018.pdf)
- [20] Bartlett, A. I., Hadden, R. M. y Bisby, L. A. (2018). A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction. *Fire Technology*, 55, 1–49. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0787-y>



- [21] Schmid, J., Klippel, M., Just, A., y Frangi, A. (2014). Review and analysis of fire resistance tests of timber members in bending, tension and compression with respect to the Reduced Cross-Section Method. *Fire Safety Journal*, 68, 81–99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.05.006>
- [22] Östman, B., Brandon, D. y Frantzych, H. (2017). Fire safety engineering in timber buildings. *Fire Safety Journal*, 91, 11–20. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.002>
- [23] Renner, J. S., Mensah, R. A., Jiang, L., Xu, Q., Das, O. y Berto, F. (2012). Fire Behavior of Wood-Based Composite Materials. *Polymers*, 13(24), 4352. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13244352>
- [24] Ramesh, M., Rajeshkumar, L., Sasikala, G., Balaji, D., Saravanakumar, A., Bhuvaneshwari, V. y Bhoopathi, R. (2022). A Critical Review on Wood-Based Polymer Composites: Processing, Properties, and Prospects. *Polymers*, 14(3), 589. doi: <https://doi.org/10.3390/polym14030589>
- [25] Garay, R. y Henríquez, M. (2010). Comportamiento frente al fuego de tableros y madera de pino radiata con y sin pintura retardante de llama. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 12(1), 11–24. doi: <http://doi.org/10.4067/S0718-221X2010000100002>
- [26] Kadlicová, P., Gašpercová, S. y Osvaldová, L. M. (2017). Monitoring of weight loss of fibreboard during influence of flame. *Procedia Engineering*, 192, 393-398. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.068>
- [27] Galla, Š., & Ivanovicová M. (2013). Assessment of Fire Risk of Selected Agglomerated Wooden Materials. *Research Journal of Recent Sciences*, 2(7), 43–47. Recuperado de: <http://www.isca.in/rjrs/archive/v2/i7/8.ISCA-RJRS-2013-110.pdf>
- [28] Rowell, R. M. (2013). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Boca Raton: CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/b12487>
- [29] Tureková, I., Ivanovičová, M., Harangózo, J., Gašpercová, S. y Marková, I. (2022). Experimental Study of the Influence of Selected Factors on the Particle Board Ignition by Radiant Heat Flux. *Polymers*, 14(9), 1648. doi: <https://doi.org/10.3390/polym14091648>
- [30] Haurie, L., Giraldo, M. P., Lacasta, A. M., Montón, J. y Sonnier, R. (2019). Influence of different parameters in the fire behaviour of seven hardwood species. *Fire Safety Journal*, 107, 193–201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.08.002>
- [31] Sotomayor Castellanos, J. R. y Ávila Calderón, L. E. A. (2021). Reacción al Fuego de Tres Maderas Angiospermas Impregnadas con Sales de Boro. *Revista Tecnológica Espol – RTE*, 33(1), 35–48. doi: <https://doi.org/10.37815/rte.v33n1.818>
- [32] Walker, J. C. F. (2006). *Primary Wood Processing*. Dordrecht: Springer.
- [33] Martin, A. (Ed.). (2015). *Wood Composites*. Sawston: Woodhead Publishing.
- [34] Kumar, R. N. y Pizzi, A. (2019). *Adhesives for Wood and Lignocellulosic Materials*. Beverly: Scrivener Publishing LLC.