



Artículo de investigación



Determinación de las propiedades de higroexpansión de tableros compuestos a base de madera

Determination of the hygroexpansion properties of wood-based composite panels

Javier Ramón Sotomayor Castellanos , Israel Macedo Alquicira 

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Universitaria, 58190, Morelia, Michoacán, México

Autor de correspondencia: Javier Ramón Sotomayor Castellanos, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Universitaria, 58190, Morelia, Michoacán, javier.sotomayor@umich.mx. <https://orcid.org/0000-0002-1527-880>.

Recibido: 17 de Marzo del 2024

Aceptado: 20 de Junio del 2024

Publicado: 1 de Julio del 2024

Resumen. - *Los tableros de madera se expanden cuando están expuestos a la humedad en condiciones de servicio. En consecuencia, su funcionamiento como material de ingeniería empobrece y ocasiona costos de reparación y/o remplazo. El objetivo de la investigación fue determinar las densidades y las higroexpansiones de tableros contrachapados, enlistonados, de densidad media y de astillas orientadas de madera. Se evaluaron los mismos parámetros en un grupo de control de madera sólida de Pinus pseudostrabus. De cada material se prepararon 35 probetas seleccionadas al azar. Se realizaron pruebas de higroscopía con un protocolo de humidificación y secado del material experimental. Las higroexpansiones de los tableros contrachapados, enlistonados, de densidad media y de astillas orientadas son diferentes en comparación con la higroexpansión de la madera sólida de P. pseudostrabus. La madera y los tableros de madera presentan un carácter higroscópico, el cual resulta en una variación dimensional si su contenido de humedad se modifica. Las magnitudes de las higroexpansiones de los cuatro tableros estudiados son mayores a la correspondiente a la madera sólida de P. pseudostrabus.*

Palabras clave: *Pinus pseudostrabus*; Tableros contrachapados; Tableros enlistonados; Tableros de densidad media; Tableros de astillas orientadas.

Abstract. - *Wood panels expand when exposed to moisture in service conditions. Consequently, their performance as an engineering material is impoverished and results in repair and/or replacement costs. The objective of the research was to determine the densities and hygroexpansions of plywood, strandboard, medium density and oriented strandboard. The same parameters were evaluated on a control group of Pinus pseudostrabus solid wood. Thirty-five randomly selected specimens were prepared from each material. Hygroscopy tests were performed with a protocol of humidification and drying of the experimental material. The hygroexpansions of plywood, strandboard, medium density and oriented strandboard are different compared to the hygroexpansion of P. pseudostrabus solid wood. Wood and wood-based panels exhibit hygroscopic character, which results in dimensional variation if their moisture content is changed. The magnitudes of the hygroexpansions of the four boards studied are greater than that of solid wood of P. pseudostrabus.*

Keywords: *Pinus pseudostrabus*; Plywood; Stripboard; Medium density board; Oriented strand board.



1. Introducción

Una de las industrias de productos forestales de mayor crecimiento es la de fabricación de tableros de madera. Con la finalidad de aprovechar integralmente las materias primas provenientes del bosque, esta rama industrial tiene como estrategia desarrollar productos reconstituidos de madera con un menor costo energético e impacto ecológico. La fabricación y el empleo de madera reconstituida en forma de tableros es la tendencia contemporánea en ingeniería de la madera. Los tableros de madera son utilizados en dimensiones cada vez más grandes, en combinación con otros materiales y con recubrimientos plásticos. Por este motivo la caracterización de sus propiedades higroscópicas es un tema importante de investigación.

Las tecnologías de fabricación de tableros de madera solucionan tres problemas: 1. Aprovechan material considerado como desperdicio de la industria de transformación de la madera; 2. Transforman las dimensiones limitadas de la madera sólida (aserrada) en placas con amplias superficies; 3. Disminuyen la anisotropía y la heterogeneidad de la madera sólida. Como resultado, los tableros de madera son materiales de ingeniería con características técnicas definidas y uniformes. Igualmente tienen una amplia diversidad en aplicaciones y escenarios para el diseño de productos y cálculo estructural [1].

El concepto de estabilidad dimensional de una pieza de madera se refiere a la magnitud de su expansión geométrica en respuesta al aumento en su contenido de humedad [2-4]. Este fenómeno de higoexpansión se da en el dominio higroscópico y presenta una marcada anisotropía [5-7]. El comportamiento higroscópico de la madera está reportada a una escala de observación macro anatómica por [6] y a nivel micro anatómico por [8].

La caracterización de la estabilidad dimensional de la madera es de interés práctico en el diseño de edificios y estructuras sustentables que están expuestos a condiciones ambientales inciertas [3], [9-10], así como en la elaboración de muebles [11], pisos, instrumentos musicales y una diversidad de artículos de madera. En la industria de la construcción, los tableros de madera son utilizados en techos, en pisos, así como para refuerzo en columnas y en fachadas [12].

Los resultados experimentales de las higoexpansiones de tableros de madera son útiles en el diseño de materiales higromórficos a base de madera [13] y se pueden aplicar en el desarrollo de materiales funcionales a base de madera, en el diseño computacional, así como en el modelado y en la fabricación robotizada que integra el comportamiento elástico e higroscópico de compuestos de madera [14].

El fenómeno de higroscopicidad de la madera se observa cuando su contenido de humedad aumenta en el dominio higroscópico. Como consecuencia, sus dimensiones se incrementan. Esta propiedad se define como higoexpansión. Este proceso se desarrolla en dos niveles estructurales: a nivel meso anatómico como efecto de las propiedades de absorción de agua por capilaridad del tejido leñoso y a nivel microscópico como el resultado de las propiedades combinadas de adsorción y absorción de la pared celular. La higoexpansión de la madera es reversible, anisotrópica y sus magnitudes varían según la especie [6].

Estos argumentos se pueden transferir a los materiales compuestos con fibras, astillas o placas de madera cuando varían las condiciones ambientales, la humedad relativa y la temperatura del aire, de tal forma que varía el



contenido de humedad en la madera, en las placas y/o componentes de que están constituidos los tableros. De tal suerte, que los tableros de madera mantienen la inestabilidad dimensional y la tendencia al biodeterioro, peculiaridades naturales del material original. Ambos procesos están relacionados con las propiedades higroscópicas de la madera y ocasionan la disminución de las propiedades técnicas y estéticas originales de los tableros [15].

La magnitud de la higróexpansión en estos materiales varía según el tamaño, forma y/o acomodo de sus componentes ligno-celulósicos y de conformidad con el tipo de adhesivo empleado en su fabricación [16]. En el mismo sentido, la literatura reporta que la higróexpansión de la madera sólida es proporcional a su densidad [17].

La caracterización tecnológica de tableros de madera presenta, entre otras dificultades, la variación en los valores de los parámetros empleados en diseño e ingeniería de la madera. Esta incertidumbre es ocasionada, por una parte, por la variabilidad en las características tecnológicas particulares a las especies de madera que conforman los tableros. Por otra, es ocasionada por las diferencias en los procesos de manufactura, propias a cada empresa. En consecuencia, para tableros de madera, con calidad y clasificación comercial similares, se encuentran características técnicas diferentes.

El objetivo de la investigación fue determinar las densidades y las higróexpansiones de tableros comerciales contrachapados, enlistonados, de densidad media y de astillas orientadas de madera. Para contrastar los resultados se

evaluaron los mismos parámetros en un grupo de control de madera sólida de *Pinus pseudostrobus*. Estas características se determinaron antes y después de someter a los cinco materiales a un procedimiento experimental de hidratado y secado.

2. Metodología

Se adquirieron piezas de madera aserrada de *P. pseudostrobus* (Pino) y tableros contrachapados (TC), enlistonados (TE), de densidad media (TDM) y de astillas orientadas (TAO) en la ciudad de Morelia, Michoacán, México. De acuerdo con la información proporcionada por el establecimiento comercial, los tableros de densidad media y de astillas orientadas son catalogados como estructurales y compuestos por mezclas de madera de varias especies del género *Pinus*. Los tableros contrachapados son catalogados como tableros estructurales de siete capas de madera del género *Pinus*. Los tableros enlistonados están armados por listones de madera del género *Pinus*, de sección cuadrada de 15 mm de arista y recubiertos en sus dos caras con chapas de madera de cedro rojo (*Cedrela spp*). Los tableros son pegados y/o aglomerados con adhesivos a base de resinas de urea formaldehído. Los diagramas del espesor y de la estructura interna de los tableros estudiados se presentan en la Figura 1. De cada material se prepararon 35 probetas seleccionadas al azar con dimensiones de 50 mm de largo, 50 mm de ancho y con los siguientes espesores: 20 mm para el pino (correspondiente a su dirección radial), 18 mm para los tableros contrachapados, enlistonados y de densidad media, y 17 mm para los tableros de astillas orientadas.

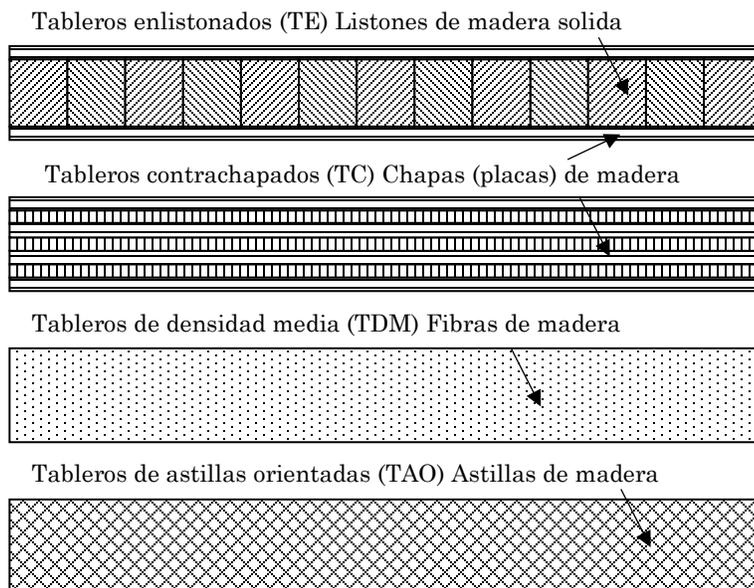


Figura 1. Esquemas de la estructura de los tableros.

Las pruebas de higroscopía [18-19] consistieron en tres momentos. La Figura 2 presenta la secuencia de la preparación del material experimental y de las pruebas de higroscopía. Inicialmente, las probetas se acondicionaron en una cámara con temperatura de 20 °C y humedad

relativa del aire de 65% hasta que alcanzaron un peso constante. Se registro su peso y se midieron sus dimensiones. Estas mediciones y sus parámetros derivados se especifican para el estado inicial.

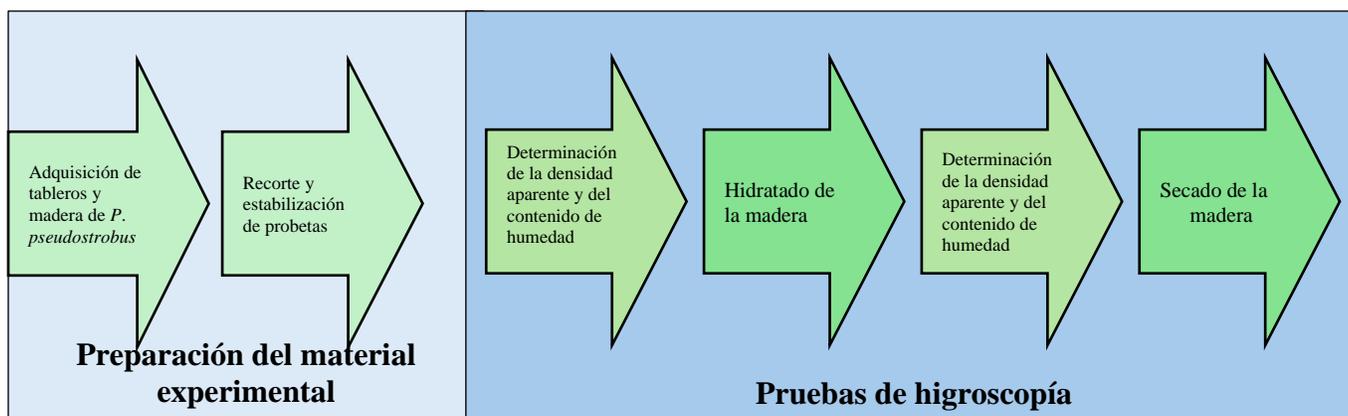


Figura 2. Secuencia de la preparación del material experimental y de las pruebas de higroscopía.

En seguida, las probetas se hidrataron durante 72 h por inmersión en agua a temperatura de 23 °C. Este lapso representa el tiempo de inmersión suficiente para asegurar que el contenido de

humedad de la madera sólida de pino sea superior al punto de saturación de la fibra y poder medir la máxima higroexpansión. Asimismo, este intervalo de tiempo permitió alcanzar contenidos



de humedad en los tableros superiores al punto de saturación de la fibra de la madera. Una vez hidratadas las probetas, se registró su peso y se midieron sus dimensiones. Estas medidas y sus parámetros derivados se definieron como correspondientes al estado saturado. Posteriormente, las probetas se secaron a 103 °C durante 48 h y se registró su peso y se midieron sus dimensiones, considerando esta condición del material como el estado anhidro.

Para el estado inicial se calcularon las densidades aparentes y los contenidos de humedad correspondientes. En lo subsecuente y cuando el contexto lo permita, los términos contenidos de humedad y densidad se referirán al estado inicial del material. Se calcularon las higroexpansiones en la dirección radial de la madera de pino y en las direcciones correspondientes a los espesores de los cuatro tableros con las proporciones entre las medidas de los espesores de los estados inicial y saturado.

El contenido de humedad se calculó con la Eq. (1) [20]:

$$CH = \left(\frac{P_{inicial} - P_{anhidro}}{P_{anhidro}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

$P_{inicial}$ = Peso inicial (kg)

$P_{anhidro}$ = Peso anhidro (kg)

La densidad aparente se calculó con la Eq. (2) [21]:

$$\rho_{CH} = \frac{P_{inicial}}{V_{inicial}} \quad (2)$$

Donde:

ρ_{CH} = Densidad aparente (kg m^{-3})

$P_{inicial}$ = Peso inicial (kg)

$V_{inicial}$ = Volumen inicial (m^3)

La higroexpansión se calculó con la Eq. (3) [22]:

$$\alpha = \left(\frac{e_{saturado} - e_{inicial}}{e_{inicial}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Donde:

α = Higroexpansión (%)

$e_{saturado}$ = Espesor saturado (m)

$e_{inicial}$ = Espesor inicial (m)

2.1 Diseño experimental

Las variables de respuesta fueron las densidades (ρ_{CH}) consideradas como independientes y las higroexpansiones (α) como dependientes. El contenido de humedad (CH) se consideró un parámetro de referencia. Los resultados se agruparon en muestras de 35 réplicas (probetas): *P. pseudostrobus* (Pino), tableros contrachapados (TC), enlistonados (TE), de densidad media (TDM) y de astillas orientadas (TAO). El tipo de tablero se consideró el factor de variación y se contrastó con el grupo de control de madera de pino, lo que dio un total de cinco niveles (tipos de material).

Se calcularon las medias (μ), las desviaciones estándar (σ) y los coeficientes de variación ($CV = \sigma/\mu$). También, se realizaron pruebas de normalidad en las distribuciones de las muestras. El criterio de demarcación para aceptar distribuciones uniformemente distribuidas fue los valores del sesgo estandarizado (SE) y del apuntamiento estandarizado (AE) al interior del intervalo [-2, +2].

Se realizaron análisis de varianza y se verificó la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ donde μ es la media de cada muestra y los subíndices se asocian a cada una de las muestras por contrastar. Para verificar esta hipótesis, el criterio de demarcación para aceptar diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza fueron valores de $P (\alpha = 0,05) <$



0,05. Igualmente, se realizaron pruebas de rangos múltiples y se aceptó que existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X. Finalmente, se calcularon correlaciones lineales ($y = ax + b$) y sus coeficientes de determinación (R^2) entre las variables dependientes (α) y las independientes (ρ_{CH}).

3. Resultados y discusiones

Por el efecto del hidratado de las probetas, su espesor inicial se incrementó en el estado saturado evidenciando así el fenómeno de higróexpansión. La Figura 3 presenta la variación del contenido de humedad en función del tiempo en las pruebas de higróscopía.

En el mismo sentido, las probetas no mostraron delaminación y/o desmoronamiento ocasionado por el hidratado y secado (Figura 4).

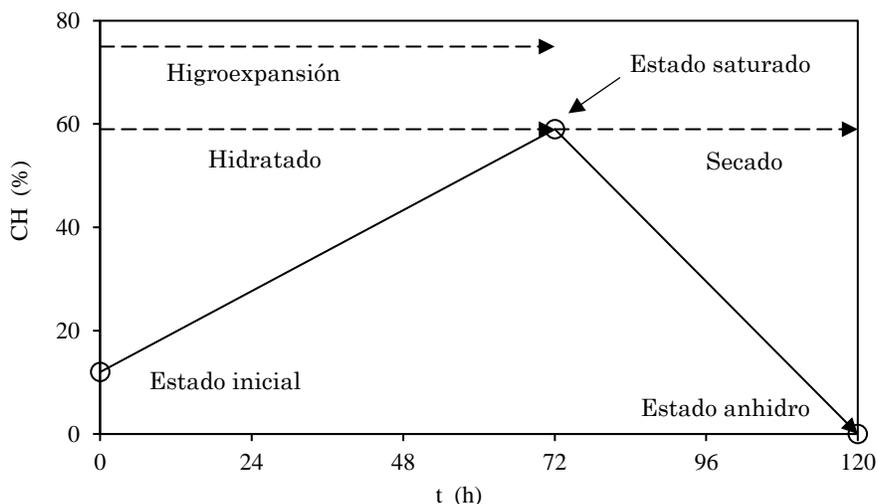


Figura 3. Contenidos de humedad (CH) en función del tiempo (t) en las pruebas de higróscopía.

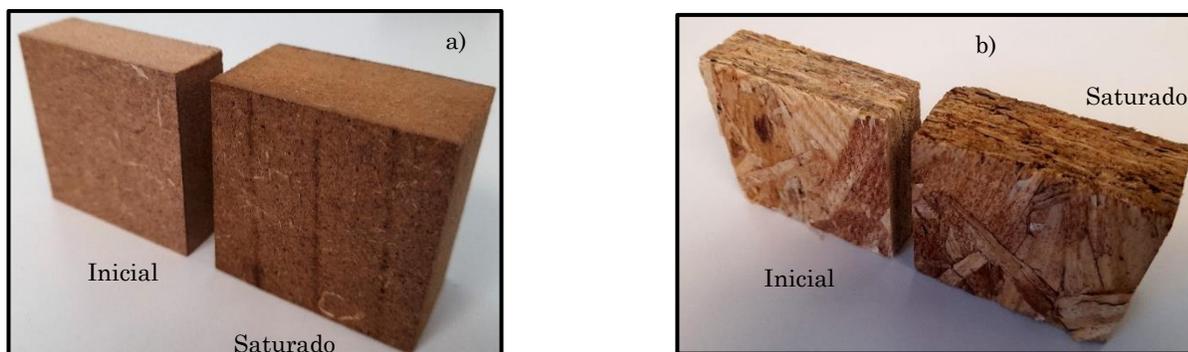


Figura 4. Geometrías en los estados inicial y saturado. a) Tableros de densidad media (TDM) y b) Tableros de astillas orientadas (TAO).

Las cinco muestras analizadas mostraron que los datos recopilados experimentalmente provienen de distribuciones normales (Tabla 1). El análisis de varianza para las densidades indicó

diferencias significativas entre las cinco muestras. En este mismo sentido, la prueba de grupos homogéneos confirmó las diferencias entre todas ellas. Estos resultados indican que se



estudió un grupo experimental uniforme y homogéneo representando un intervalo de densidades de 390 kg m⁻³ el cual que va desde un mínimo de 319 kg m⁻³ de tableros enlistonados

hasta un máximo de 709 kg m⁻³ para tableros de astillas orientadas. La densidad de la madera sólida de pino se posiciona en medio de este intervalo ($\rho_{CH} = 598 \text{ kg m}^{-3}$).

Tabla 1. Resultados pruebas estadísticas

Material	SE [-2 < SE, AE < +2]	AE	ANOVA P ($\alpha = 0,05$)	Grupos Homogéneos (#)	
Densidades					
Pinus pseudostrobus	-0,165	-1,183	< 0,001*	X	
Tableros enlistonados	1,140	-0,275			X
Tableros contrachapados	0,217	-0,714			X
Tableros de densidad media	-0,592	-0,480			X
Tableros de astillas orientadas	-0,695	-0,442			X
Higroexpansiones					
Pinus pseudostrobus	0,392	-0,434	< 0,001*	X	
Tableros enlistonados	-0,281	0,131			X
Tableros contrachapados	-0,023	-1,021			X
Tableros de densidad media	-0,166	-0,785			X
Tableros de astillas orientadas	0,613	0,041			X

SE = Sesgo estandarizado; AE = Apuntamiento estandarizado; ANOVA = Análisis de varianza; * P ($\alpha = 0,05$) < 0,05: existe una diferencia estadísticamente significativa para un nivel del 95% de confianza; #: no existen diferencias estadísticamente significativas entre muestras que compartan una misma columna de X.

El análisis de varianza correspondiente a las higroexpansiones exhibió igualmente diferencias significativas. Sin embargo, los grupos homogéneos identificaron que no existen diferencias entre los tableros contrachapados y enlistonados. Este resultado señala una asociación de estos dos materiales en cuanto a sus higroexpansiones, pero se diferencia la madera de pino (*P. pseudostrobus*) de las higroexpansiones de los cuatro tipos de tablero.

Los contenidos de humedad se situaron al interior del intervalo 10% a 12% con coeficientes de variación de 4% a 8% (Tabla 2). Este resultado implica que la madera de pino y los tableros se consideran en estado seco y que su contenido de humedad inicial no intervino en los resultados.



Tabla 2. Contenidos de humedad, densidades e higoexpansiones.

	CH (%)	ρ_{CH} (kg m^{-3})	α (%)
Pinus pseudostrobus (Pino)			
μ	11	598	2,4
σ	1	45	0,9
CV	(6)	(8)	(36)
Tableros contrachapados (TC)			
μ	11	505	4,5
σ	1	15	1,0
CV	(5)	(3)	(22)
Tableros enlistonados (TE)			
μ	12	319	4,2
σ	1	37	1,2
CV	(7)	(12)	(29)
Tableros de densidad media (TDM)			
μ	10	634	24,5
σ	0,4	6	1,2
CV	(4)	(1)	(5)
Tableros de astillas orientadas (TAO)			
μ	10	696	31,1
σ	1	38	3,6
CV	(8)	(5)	(12)

CH = Contenido de humedad; ρ_{CH} = Densidad; α = Higoexpansión; μ = Media; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación en porciento y entre paréntesis.

La higoexpansión promedio de los cuatro tipos de tableros es 13% y su coeficiente de variación promedio es 6%. Las magnitudes de las higoexpansiones correspondientes a los tableros contrachapados y enlistonados los agrupa y son similares a las de la madera de pino (Figura 5). En el mismo sentido, las higoexpansiones de los tableros de densidad media y de astillas orientadas se asocian y también se distinguen por sus valores mayores. En la misma Figura 5 aparece la correlación y su coeficiente de

determinación entre las higoexpansiones de los cuatro tipos de tableros y sus densidades. Los datos para los tableros de pino se muestran para su contrastación. Este modelo explica, con un 77% de precisión ($R^2 = 0,77$), que la higoexpansión en la dirección perpendicular al plano principal de los tableros contrachapados, enlistonados, de densidad media y de astillas orientadas se incrementa proporcionalmente a su densidad.

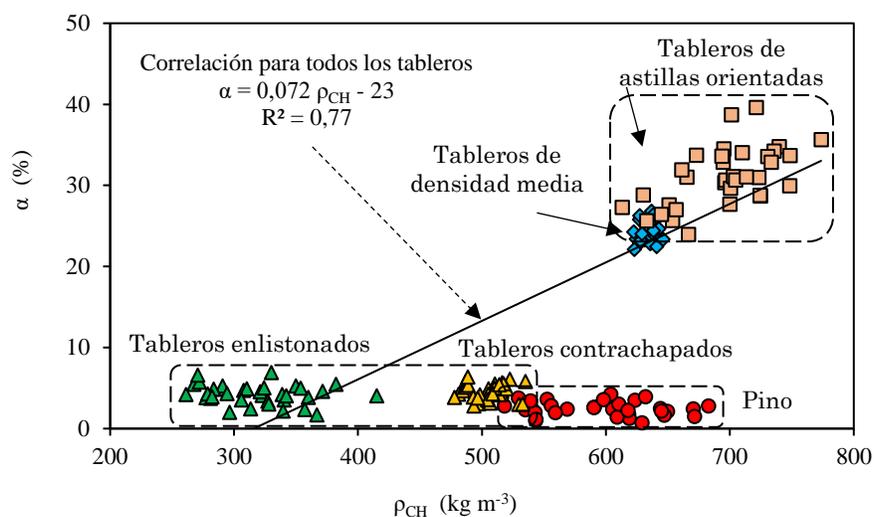


Figura 5. Correlación de las higroexpansiones (α) de los cuatro tipos de tableros en función de sus densidades (ρ_{CH}). Los datos de pino (*P. pseudostrobus*) se muestran para contrastación.

La variación dimensional de un volumen dado de materia leñosa, es decir, de madera sólida, puede explicarse por el hecho de que la adición de masa de agua o de otro líquido polar a la pared celular provoca que la red microfibrilar se expanda proporcionalmente a la cantidad de fluido que se adiciona. Este proceso continúa hasta que se alcanza el punto de saturación de la fibra de la madera. A partir de este estado saturado, el incremento de agua en la madera no produce ningún cambio en el volumen de la sustancia de la pared celular, dado que el agua adicional, por arriba de este nivel, se concentra en el lumen celular. Bajos índices de higroexpansión mantienen estable la estructura interna de materiales compuestos y/o reconstituidos de madera [23].

La variación dimensional de los tableros depende de las propiedades higroscópicas de la especie de madera, de la composición estructural del tablero y de la estructura anatómica de las láminas que lo conforman [24]. De tal forma, las características higroscópicas de cada tipo de tablero es resultado de las especies y pegamentos utilizados, así como del tamaño, forma y acomodo de las chapas,

listones, fibras y astillas que conforman su espesor.

La higroexpansión de los tableros de madera tiene dos componentes: la expansión geométrica debida a la absorción de agua por las partículas higroscópicas de madera y la liberación del esfuerzo de compresión ocasionado durante el prensado del tablero. El segundo componente se revierte si el tablero es deshidratado, efecto que se conoce como efecto de recuperación [25]. Los factores que más afectan la adsorción de agua y la consecuente higroexpansión en los tableros de madera son su perfil de densidad, la presencia de agentes hidrofóbicos, así como la temperatura y secuela aplicados durante su fabricación [12].

3.1. Densidades

La densidad promedio de los tableros de madera es 538 kg m^{-3} . La densidad de los tableros contrachapados es 15% menor que en la de madera de pino y en los tableros enlistonados es también 47% menor. En cambio, la densidad de los tableros de densidad media es 6% mayor que la de pino. Igualmente, la densidad de los tableros de astillas orientadas es 16% mayor (Tabla 2).



El coeficiente de variación promedio de la densidad de los tableros es 6%. La variabilidad de la densidad de los tableros contrachapados, explicada por el coeficiente de variación, es 6% menor respecto a la de madera de pino. En el mismo sentido, la variabilidad de la densidad de tableros de densidad media es menor 88% y la de los tableros de astillas orientadas es 38%. En cambio, el coeficiente de variación de los tableros enlistonados es 50% mayor que la correspondiente a la madera de pino.

Los valores promedio de densidad y sus correspondientes coeficientes de variación son calculados a partir de 35 probetas de pequeñas dimensiones recortadas al azar en cinco tableros y en la madera sólida de pino. De tal forma, que estos resultados son representativos de la uniformidad de la estructura y a nivel local de 35 mediciones repartidas en el plano de los cuatro tipos de tableros. En consecuencia, a menor coeficiente y/o variabilidad de la densidad, se infiere una mejor calidad en lo que respecta a la estructura interna del material.

3.2. Tableros contrachapados

La higroexpansión de los tableros contrachapados es mayor 88% en relación con la de la madera de pino y 7% con la de los tableros enlistonados. En cambio, es menor 444% que la de los tableros de densidad media y 591% de astillas orientadas (Tabla 2). La media de los tableros contrachapados se posiciona al interior de la nube de datos de la bibliografía (Tabla 3, Figura 6). La madera de pino se sitúa fuera de la nube y por debajo de los valores de la bibliografía cuya media es 7%. Estos datos indican una correlación media de las higroexpansiones en relación con la densidad ($R^2 = 0,49$). La higroexpansión de los tableros contrachapados se sitúa cerca de la tendencia, pero la de la madera de pino se posiciona por debajo de la correlación.

Los valores de las medias de los resultados de esta investigación se incluyen en las figuras 6, 7 y 8 con el objeto de posicionarlos respecto a las medias calculadas con los datos de la bibliografía enlistados en la Tabla 3.

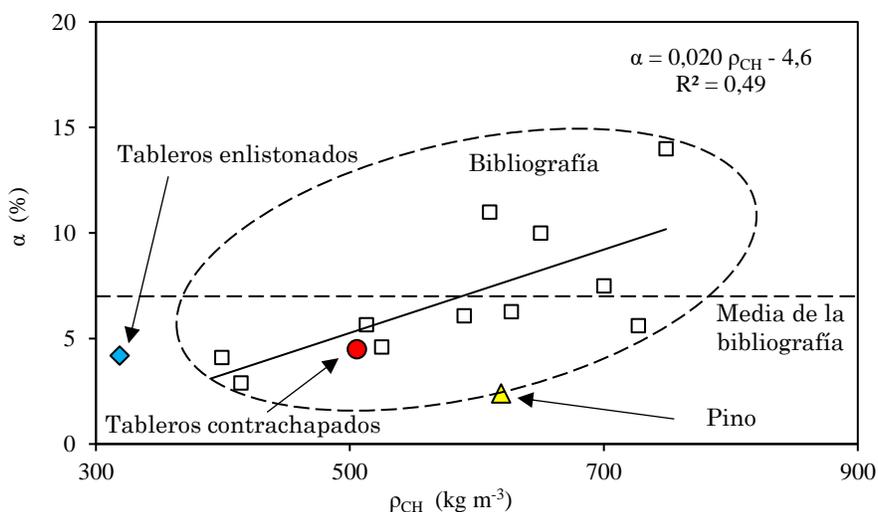


Figura 6. Comparativo de las higroexpansiones (α) y densidades (ρ_{CH}) de los tableros contrachapados respecto a los datos de la bibliografía (Tabla 3). Los datos de los tableros enlistonados y de pino (*P. pseudostrabus*) se presentan como referencias.



Tabla 3. Densidades e higroexpansiones de la bibliografía.

Referencia	ρ_{CH} (kg m ⁻³)	α (%)
Tableros contrachapados		
[29] Galikhanov et al. (2018)	700	7,5
[29] Galikhanov et al. (2018)	650	10,0
[29] Galikhanov et al. (2018)	610	11,0
[30] Lunguleasa et al. (2018)	749	14,0
[31] Muñoz y Moya (2018)	525	4,6
[31] Muñoz y Moya (2018)	399	4,1
[31] Muñoz y Moya (2018)	414	2,9
[32] Reis et al. (2019)	727	5,6
[32] Reis et al. (2019)	513	5,7
[32] Reis et al. (2019)	627	6,3
[32] Reis et al. (2019)	590	6,1
Tableros de densidad media (TDM)		
[33] Wibowo et al. (2021)	700	26,0
[34] Ozyhar et al. (2020)	550	19,0
[34] Ozyhar et al. (2020)	700	24,0
[34] Ozyhar et al. (2020)	850	25,0
[35] Gürgen et al. (2019)	750	17,0
[35] Gürgen et al. (2019)	750	11,0
[36] Gul et al. (2020)	703	35,0
[37] Alabduljabbar et al. (2020)	708	10,0
[38] Hong et al. (2017)	650	28,0
[38] Hong et al. (2017)	700	18,0
[38] Hong et al. (2017)	750	17,0
[38] Hong et al. (2017)	800	16,0
Tableros de astillas orientadas (TAO)		
[39] Zeleniuc et al. (2020)	550	24,0
[39] Zeleniuc et al. (2020)	570	23,0
[39] Zeleniuc et al. (2020)	550	17,0
[40] Zhuang et al. (2022)	601	16,0
[40] Zhuang et al. (2022)	614	7,4
[40] Zhuang et al. (2022)	642	8,1
[40] Zhuang et al. (2022)	619	11,4
[40] Zhuang et al. (2022)	616	12,5
[40] Zhuang et al. (2022)	623	13,5

ρ_{CH} = Densidad; α = Higroexpansión.



La higr expansi3n de los tableros contrachapados es 13% menor en comparaci3n con la reportada por [4]. Si bien se contrastan resultados de tableros contrachapados comerciales y determinados con metodol3gias experimentales similares, las diferencias pueden ser explicadas por las distintas especies, procesos y adhesivos empleados para su fabricaci3n [1], [26-27]. Por ejemplo, [12] reportan higr expansi3nes de 7%, es decir, 38% mayor respecto a la presente investigaci3n, para tableros contrachapados ($\rho_{CH} = 585 \text{ kg m}^{-3}$) elaborados con madera de *Picea spp* y *Fagus spp* y adhesivo de formaldehido y melamina.

La variabilidad de la higr expansi3n de los tableros contrachapados, explicada por el coeficiente de variaci3n, es 39% menor que la de la madera s3lida de *P. pseudostrobus*. Igualmente es menor en un 24% respecto a la de los tableros enlistonados. As3, la reconstituci3n de la madera en tableros a partir de pequeos segmentos en forma de chapas reduce la variabilidad natural de la higr expansi3n de la madera.

3.3. Tableros enlistonados

La higr expansi3n de los tableros enlistonados es 75% mayor que la del pino, 7% menor que la de los tableros contrachapados, 83% menor que la de los tableros de densidad media y 86% menor que la de los tableros de astillas orientadas (Tabla 2). Sus valores se agrupan alrededor de los valores m3nimos correspondientes al pino (Figura 5). Asimismo, se sit3an por debajo de la media de la bibliograf3a de los tableros contrachapados (Figura 6). Comparativamente con la higr expansi3n de tableros enlistonados comerciales reportada por [4], los resultados de

la presente investigaci3n son 26% menores. El coeficiente de variaci3n de la higr expansi3n es menor que el de pino, pero mayor a los tableros contrachapados, de densidad media y de astillas orientadas (Tabla 2).

La variaci3n dimensional de los tableros enlistonados fabricados con madera s3lida depende de los coeficientes de higr expansi3n volum3trica, radial y tangencial de cada especie de madera que compone el tablero, tomando en cuenta que en las piezas de madera encolada los coeficientes antes mencionados son inferiores al de la madera s3lida. As3, por su higr expansi3n y su baja densidad, los tableros enlistonados se distinguen de los tableros contrachapados y de la madera s3lida de pino (Figura 6).

3.4. Tableros de densidad media

El valor promedio de la densidad de los tableros de densidad media los califica como de densidad media ($500 \text{ kg m}^{-3} < \rho_{CH} < 700 \text{ kg m}^{-3}$) de acuerdo con la Asociaci3n Americana de Pruebas y Normalizaci3n [28]. La higr expansi3n de los tableros de densidad media es 920% mayor que la de pino y 42% mayor que la de los tableros enlistonados. En cambio, la higr expansi3n de los tableros de densidad media es 21% menor respecto a la de los tableros de astillas orientadas (Tabla 2). Su valor promedio se sit3a al interior de la nube de valores reportados en la bibliograf3a (Tabla 3) y se posiciona por encima de la media ($\alpha = 21\%$, Figura 7). El coeficiente de determinaci3n de la correlaci3n entre la higr expansi3n de la bibliograf3a y su densidad es nulo ($R^2 = 0,02$). De manera similar a la de los tableros contrachapados la higr contracci3n de la madera de pino es menor respecto a la de los tableros de densidad media.

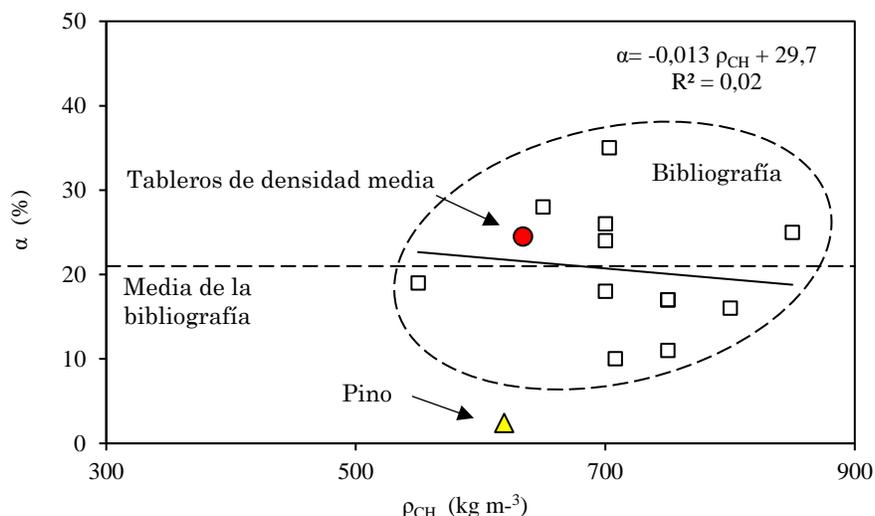


Figura 7. Comparativo de las higroexpansiones (α) y densidades (ρ_{CH}) de los tableros de densidad media respecto a los datos de la bibliografía (Tabla 3). Los datos del pino se presentan como referencia.

El coeficiente de variabilidad de la higroexpansión de los tableros de densidad media disminuye 620% en proporción al de la madera de pino, 480% respecto a los tableros enlistonados, 340% respecto a los tableros contrachapados y con relación a los tableros de astillas orientadas el coeficiente de variación de la higroexpansión disminuye 140%. El comportamiento higroscópico de los tableros de densidad media depende entre otros factores, del tipo y cantidad de adhesivo empleado en su fabricación, así como de la forma y tamaño de las partículas de madera que conforman el tablero [12]. Estos autores reportan para tableros de partículas elaborados con madera de *Picea spp* y *Fagus spp* ($\rho_{CH} = 717 \text{ kg m}^{-3}$) una higroexpansión de 19%, es decir, 13% menor a la de la presente investigación.

3.5. Tableros de astillas orientadas

La higroexpansión de los tableros de astillas orientadas es en promedio 560% mayor que la de la madera de pino, los tableros enlistonados y contrachapados. En cambio, es 21% menor que la correspondiente a los tableros de astillas orientadas (Tabla 2). Respecto a la media de la bibliografía de 15%, la higroexpansión de los tableros de astillas orientadas de la presente investigación es 63% mayor (Figura 8). La correlación entre los datos de la bibliografía indica un coeficiente de determinación alto ($R^2 = 0,71$). Además, la higroexpansión de la madera de pino se posiciona por debajo de la nube y de la media de la bibliografía. Los tableros de astillas orientadas de la presente investigación mostraron una higroexpansión transversal 40% menor comparativamente a la de los tableros de astillas orientadas ($\alpha = 20\%$, $\rho_{CH} = 610 \text{ kg m}^{-3}$) elaborados con madera de *Picea spp* y *Fagus spp* reportado por [12].

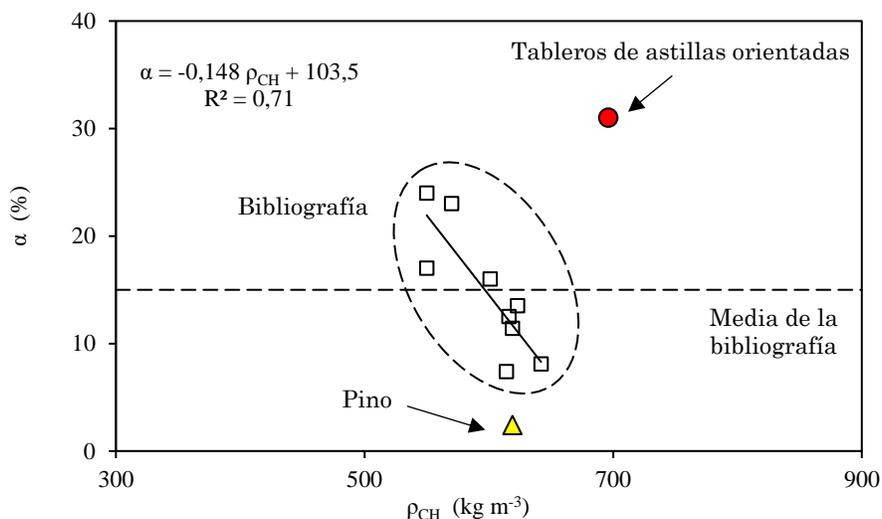


Figura 8. Comparativo de las higroexpansiones (α) y densidades (ρ_{CH}) de los tableros de astillas orientadas respecto a los datos de la bibliografía (Tabla 3). Los datos del pino se presentan como referencia.

La variabilidad de la higroexpansión de los tableros de astillas orientadas es menor 200% respecto a la madera de pino, 142% respecto a los tableros enlistonados y 83% con relación a los tableros contrachapados. En sentido contrario, el coeficiente de variación de los tableros de astillas orientadas es 241% mayor respecto al de los tableros de densidad media (Tabla 2).

4. Conclusiones

Se determinaron en condiciones de laboratorio las densidades y las higroexpansiones de tableros comerciales de madera contrachapados, enlistonados, de densidad media y de astillas orientadas y se contrastaron con las higroexpansiones de madera sólida de *P. pseudostrobus*.

Los tableros de madera presentan un carácter higroscópico, el cual resulta en una variación dimensional si su contenido de humedad se modifica. La magnitud de los indicadores de la higroexpansión es diferente según el tipo de tablero en el que se midan. Las magnitudes de las higroexpansiones de los cuatro tableros

estudiados son mayores a la correspondiente a la madera sólida de *P. pseudostrobus*.

El desarrollo de pruebas de laboratorio y el estudio de las propiedades higroscópicas de tableros de madera producen datos que pueden ser transferidos a condiciones reales de servicio. De esta manera, los resultados son útiles para el establecimiento de normas y estándares de calidad que contribuyan a su comercialización y correcta utilización como material de ingeniería.

5. Agradecimientos

La investigación fue patrocinada por la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México y por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías de México.

6. Reconocimiento de autoría

Javier Ramón Sotomayor Castellanos: Conceptualización; Metodología; Análisis formal; Investigación; Escritura y revisión del manuscrito.



Isarael Macedo Alquicira: Conceptualización; Metodología; Análisis formal; Investigación; Escritura y revisión del manuscrito.

Referencias

- [1] P. Bekhta, O. Chernetskyi, I. Kusniak, N. Bekhta, and O. Bryn, “Selected Properties of Plywood Bonded with Low-Density Polyethylene Film from Different Wood Species”, *Polymers*, vol. 14, p. 51, 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14010051>
- [2] D. Kocaefe, X. Huang, and Y. Kocaefe, “Dimensional Stabilization of Wood”, *Current Forestry Reports*, vol. 1, pp. 151-161, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40725-015-0017-5>
- [3] R. Sargent, “Evaluating dimensional stability in solid wood: a review of current practice”, *Journal of Wood Science*, vol. 65, no. 36, pp. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1817-1>
- [4] J. R. Sotomayor Castellanos, E. Hernández Corona, M. Pérez López, and D. Soto Rangel, “Caracterización mecánica de madera reconstituida. Tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados de madera. Higro-contracción e higro-expansión,” *Investigación e Ingeniería de la Madera*, vol. 8, no. 1, pp. 3-22, 2012. https://www.researchgate.net/publication/261064508_Caracterizacion_mecanica_de_madera_reconstituida_Tableros_aglomerados_contrachapados_y_enlistonados_de_madera_Higro-contraccion_e_higro-expansion_Tratamiento_higro-termico_y_pruebas_de_ultrasonido_en
- [5] A. Patera, D. Derome, M. Griffa, and J. Carmeliet, “Hysteresis in swelling and in sorption of wood tissue”, *Journal of Structural Biology*, vol. 182, no. 3, pp. 226-234, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2013.03.003>
- [6] E. T. Engelund, L. G. Thygesen, S. Svensson, and C. A. S. Hill, “A critical discussion of the physics of wood-water interactions”, *Wood Science and Technology*, vol. 47, no. 1, pp. 141-161, Jan. 2013. <https://doi.org/10.1007/s00226-012-0514-7>
- [7] M. Nopens, M. Riegler, C. Hansmann, and A. Krause, “Simultaneous change of wood mass and dimension caused by moisture dynamics”, *Scientific Reports*, vol. 9, no. 10309, pp. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46381-8>
- [8] D. Derome, C. Zhang, M. Chen, and J. Carmeliet, “Understanding swelling of wood through multiscale modeling,” in 7th International Building Physics Conference, IBPC2018, Syracuse, 2018, pp. 355-360. <https://doi.org/10.14305/ibpc.2018.be-9.06>
- [9] R. C. Neagu, E. K. Gamstedt, and M. Lindström, “Influence of wood-fibre hygroexpansion on the dimensional instability of fibre mats and composites”, *Composites Part A, Applied Science and Manufacturing*, vol. 36, no. 6, pp. 772-788, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.10.023>
- [10] T. Gereke, P. Hass, and P. Niemz, “Moisture-induced stresses and distortions in spruce crosslaminates and composite laminates”, *Holzforschung*, vol. 64, no. 1, pp. 127-133, 2010. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000017324>
- [11] G. C. Ajuziogu, A. N. Amujiri, E. U. Njoku, C. B. Ozokolie, and E. O. Ojua, “Determination of swelling and dimensional stability of some Nigerian timber species”, *Annual Research & Review in Biology*, vol. 35, no. 1, pp. 24-29,



2020.

<https://doi.org/10.9734/ARRB/2020/v35i130177>

[12] M. Böhm, K. Kobetičová, J. Procházka, and R. Černý, “Moisture sorption and thickness swelling of wood-based materials intended for structural use in humid conditions and bonded with melamine resin,” en IOP Conference Series. Materials Science and Engineering, vol. 549, no. 1, pp. 1-9, 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/549/1/012042>

[13] A. Holstovs, G. Farmer, and B. Bridgens, “Sustainable Materialization of Responsive Architecture”, Sustainability, vol. 9, no. 3, pp. 435, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9030435>

[14] D. Correa, O. D. Krieg, A. Menges, R. Reichert, and K. Rinderspacher, “Hygroskin: A Climate-Responsive Prototype Project Based on the Elastic and Hygroscopic Properties of Wood,” In ACADIA 13: Adaptive Architecture. Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, Cambridge, pp. 33-42, 2013. https://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia_a13_033.content.pdf

[15] I. De Windt, W. Li, J. Van den Bulcke, and J. Van Acker, “Classification of uncoated plywood based on moisture dynamics”, Construction and Building Materials, vol. 158, pp. 814-822, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.194>

[16] M. Sooru, K. Kasepuu, R. Kask, and H. Lille, “Impact of Wetting/Oven-Drying Cycles on the Mechanical and Physical Properties of Birch Plywood”, IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering, vol. 96, no. 012075, 2015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/96/1/012075>

[17] J. R. Sotomayor Castellanos, I. Macedo Alquicira, and E. Mendoza González, “Higroexpansión, higrocontracción y sus relaciones de anisotropía de ocho maderas mexicanas”, Tecnociencia Chihuahua, vol. 16, no. 1, e 869, 2022. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.869>

[18] J. R. Sotomayor Castellanos, L. E. A. Ávila Calderón, and M. Fuentes Salinas, “Características higroscópicas de las maderas Spathodea campanulata, Fraxinus americana y Albizia plurijuga impregnadas con boro”, Ciencia UNEMI, vol. 14, no. 35, pp. 10-25, 2021. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss35.2021pp10-25p>

[19] J. R. Sotomayor Castellanos, I. Macedo Alquicira, and E. Mendoza González, “Características higroscópicas de ocho maderas mexicanas”, Ingenierías, vol. 24, no. 91, pp. 49-63, 2021. <https://doi.org/10.29105/ingenierias24.91-22>

[20] A. A. Chiniforush, A. Akbarnezhad, H. Valipour, and S. Malekmohammadi, “Moisture and temperature induced swelling/shrinkage of softwood and hardwood glulam and LVL: An experimental study”, Construction and Building Materials, vol. 207, pp. 70-83, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.114>

[21] S. Koman, and S. Feher, “Basic density of hardwoods depending on age and site”, Wood Research, vol. 60, no. 6, pp. 907-912, 2015. <http://www.centrumdp.sk/wr/201506/07.pdf>

[22] Z. Fu, Y. Zhou, X. Gao, H. Liu, and F. Zhou, “Changes of water related properties in radiata pine wood due to heat treatment”, Construction and Building Materials, vol. 227, no. 116692, 2019.



<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116692>

[23] J. R. Sotomayor Castellanos, L. J. García Mariscal, C. E. Moya Lara, and J. B. Olguín Cerón, “Higroscopía y anisotropía de la madera de *Pinus michoacana*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pringlei*. Higrocontracción, velocidad del ultrasonido y módulo de elasticidad dinámico”, *Investigación e Ingeniería de la Madera*, vol. 6, no. 3, pp. 3-32, 2010. https://www.researchgate.net/publication/261099839_Higroscopia_y_anisotropia_de_la_madera_de_Pinus_michoacana_Pinus_douglasiana_y_Pinus_pringlei_Higrocontraccion_velocidad_del_ultrasonido_y_modulo_de_elasticidad_dinamico

[24] C. Lanvermann, F. K. Wittel, and P. Niemz, “Full-field moisture induced deformation in Norway spruce: intra-ring variation of transverse swelling”, *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 72, pp. 43-52, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0746-8>

[25] R. Hajihassani, B. Mohebbi, S. K. Najafi, and P. Navi, “Influence of combined hygro-thermomechanical treatment on technical characteristics of poplar wood”, *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 20, no. 1, pp. 117-128, 2018. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005011001>

[26] M. R. T. Esfandiyari, M. T. Pour, H. Khademieslam, S. A. M. Shokraei, and B. Bazayr, “Investigating the Possibility of Making Lignin-glyoxal Resins as Adhesives in the Production of Plywood”, *Bioresources*, vol. 14, no. 3, pp. 7122-7133, 2019. <https://doi.org/10.15376/biores.14.3.7122-7133>

[27] A. Shalbafan, A. Nadali, and H. Thoemen, “A Multifunctional Mineral Binder for Plywood Production: The Effect of Manufacturing Parameters on Bonding Quality”, *Materials*, vol.

13, 2360, 2020. <https://doi.org/10.3390/ma13102360>

[28] American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards. Section Four; Construction, Volume 04.10, Wood*. West Conshohocken, ASTM, 2009. <https://www.astm.org/>

[29] M. F. Galikhanov, P. A. Platonova, and A. F. Zamilova, “Influence of Polarization of Urea-Formaldehyde Glue in the Process of Manufacture of Plywood on Its Water and Moisture Absorption”, *Polymer Science, Series D*, vol. 11, pp. 122-126, 2018. <https://doi.org/10.1134/S1995421218020065>

[30] A. Lunguleasa, N. Ayrilmis, C. Spirchez, and F. Özdemir, “Investigation of the Effects of Heat Treatment Applied to Beech Plywood”, *Drvna industrija*, vol. 69, no. 4, pp. 349-355, 2018. <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1768>

[31] F. Muñoz, and R. Moya, “Effect of nanoclay-treated UF resin on the physical and mechanical properties of plywood manufactured with wood from tropical fast growth plantations”, *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 20, no. 1, pp. 11-24, 2018. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005001202>

[32] A. H. S. Reis, D. W. Silva, A. P. Vilela, R. F. Mendes, and L. M. Mendes, “Physical-mechanical Properties of Plywood Produced with *Acrocarpus fraxinifolius* and *Pinus oocarpa*”, *Floram*, vol. 26, no. 4, e20170157, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.015717>

[33] E. S. Wibowo, M. A. R. Lubis, and B-D. Park, “Simultaneous Improvement of Formaldehyde Emission and Adhesion of Medium-Density Fiberboard Bonded with Low-Molar Ratio Urea-Formaldehyde Resins Modified with Nanoclay”, *Journal of the Korean*



Wood Science and Technology, vol. 49, no. 5, pp. 453-46, 2021. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2021.49.5.453>

[34] T. Ozyhar, T. Depnering, C. Ridgway, M. Welker, J. Schoelkopf, I. Mayer, and H. Thoemen, “Utilization of inorganic mineral filler material as partial replacement for wood fiber in medium density fiberboard (MDF) and its effect on material properties”, European Journal of Wood and Wood Products, vol. 78, pp. 75-8, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01480-1>

[35] A. Gürgen, D. Ustaömer, and S. Yildiz, “Application of Artificial Neural Network to Predict the Effect of Paraffin Addition on Water Absorption and Thickness Swelling of MDF”, Drvna Industrija, vol. 70, no. 3, pp. 247-255, 2019. <https://doi.org/10.5552/drvind.2019.1839>

[36] W. Gul, H. Alrobei, S. R. A. Shah, and A. Khan, A, “Effect of Iron Oxide Nanoparticles on the Physical Properties of Medium Density Fiberboard”, Polymers, vol. 12, no. 2911, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12122911>

[37] H. Alabduljabbar, R. Alyousef, W. Gul, S. R. A. Shah, A. Khan, R. Khan, and A. Alaskar, “Effect of Alumina Nano-Particles on Physical and Mechanical Properties of Medium Density Fiberboard”, Materials, vol. 13, no. 18, p. 4207, 2020. <https://doi.org/10.3390/ma13184207>

[38] M-K. Hong, M. A. R. Lubis, and B-D. Park, “Effect of Panel Density and Resin Content on Properties of Medium Density Fiberboard”, Journal of the Korean Wood Science and Technology, vol. 45, no. 4, pp. 444-455, 2017. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2017.45.4.444>

[39] O. Zeleniuc, A-E. Dumitrascu, and V. D. Ciobanu, “Properties Evaluation by Thickness and Type of Oriented Strand Boards Manufactured in Continuous Press Line”, BioResources, vol. 15, no. 3, pp. 5829-5842, 2020. <https://doi.org/10.15376/biores.15.1.199-210>

[40] B. Zhuang, A. Cloutier, and A. Koubaa, “A Physical and Mechanical Properties of Oriented Strand Board Made from Eastern Canadian Softwood Species”, Forests, vol. 13, p. 523, 2022. <https://doi.org/10.3390/f13040523>

Derechos de Autor (c) 2024 Javier Ramón Sotomayor Castellanos, Israel Macedo Alquicira



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.



[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)