

Ensayo de Investigación

Módulo dinámico e índice material de tableros de densidad media comparados con madera sólida de *Pinus spp.* Evaluación con pruebas no destructivas

Recibido: 06-01-2021 Aceptado: 21-02-2022 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar la densidad, la velocidad del ultrasonido, el módulo dinámico y el índice material de tableros de densidad media (TDM) y de madera de *Pinus spp.* Estos parámetros son empleados en ingeniería de la madera y encuentran aplicaciones en la fabricación de madera reconstituida en forma de tableros. Se realizaron pruebas de ultrasonido y se compararon estadísticamente los resultados de los TDM versus los de madera de *Pinus spp.* La densidad del *Pinus spp.* es 7 % menor que la de los TDM. La magnitud de módulo dinámico de la madera sólida de *Pinus spp.* es 447 % mayor que el de los TDM. El índice material de la madera sólida de *Pinus spp.* es 4.9 % superior que el de los TDM. Los coeficientes de variación de la densidad y de la velocidad del ultrasonido medidos en los TDM son menores en comparación con los coeficientes de variación correspondientes a los parámetros del *Pinus spp.* El ultrasonido es eficaz para determinar la velocidad del ultrasonido en probetas de tableros de media densidad y en madera sólida de *Pinus spp.*

Abstract

The objective of the research was to determine the density, the speed of ultrasound, the dynamic modulus and the material index of medium density boards (TDM) and of *Pinus spp.* These parameters are used in wood engineering and find applications in the manufacture of reconstituted wood in the form of boards. Ultrasound tests were performed and the results of the TDM versus those of *Pinus spp.* wood were statistically compared. The density of *Pinus spp.* is 7 % lower than that of TDM. The magnitude of the dynamic modulus of the solid wood of *Pinus spp.* is 447 % higher than that of the TDM. The material index of the solid wood of *Pinus spp.* is 4.9 % higher than that of the TDM. The coefficients of variation of the density and of the speed of the ultrasound measured in the TDM are smaller in comparison with the coefficients of variation corresponding to the parameters of the *Pinus spp.* Ultrasound is effective in determining the speed of ultrasound in medium-density board specimens and in solid wood of *Pinus spp.*

Résumé

L'objectif de la recherche était de déterminer la densité, la vitesse des ultrasons, le module dynamique et l'indice matériel des panneaux de densité moyenne (TDM) et de *Pinus spp.* Ces paramètres sont utilisés en ingénierie du bois et trouvent des applications dans la fabrication de bois reconstitué sous forme de planches. Des tests ultrasonores ont été réalisés et les résultats du TDM versus ceux du bois de *Pinus spp.* ont été statistiquement comparés. La densité de *Pinus spp.* est inférieure de 7 % à celle de TDM. L'amplitude du module dynamique du bois massif de *Pinus spp.* est supérieure de 447 % à celle du TDM. L'indice matière du bois massif de *Pinus spp.* est supérieur de 4.9 % à celui du TDM. Les coefficients de variation de la densité et de la vitesse des ultrasons mesurés dans le TDM sont plus petits en comparaison avec les coefficients de variation correspondant aux paramètres des *Pinus spp.* L'échographie est efficace pour déterminer la vitesse des ultrasons dans les échantillons de panneaux de densité moyenne et dans le bois massif de *Pinus spp.*

Javier R. Sotomayor Castellanos*
Ernesto Mendoza González

Palabras clave: Propiedades físicas y mecánicas, madera reconstituida, velocidad del ultrasonido.

Keywords: Physical and mechanical properties, reconstituted wood, ultrasound speed

Mots-clés: Propriétés physiques et mécaniques, bois reconstitué, vitesse des ultrasons.

Facultad de Ingeniería en Tecnología
de la Madera

Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo

Correspondencia:
*madera999@yahoo.com

Introducción

El módulo dinámico y el índice material de los tableros de densidad media (TDM) son parámetros empleados en ingeniería y diseño. Estas características pueden ser calculadas a partir de la densidad de la madera y de la velocidad con que se transmite el ultrasonido a través de ella. Su determinación se puede realizar con dos enfoques. El primero es la elaboración de tableros en condiciones de laboratorio para determinar la influencia de la especie, las características de las fibras y del adhesivo

empleado, así como la importancia de la temperatura, la presión y el tiempo de prensado (Sliseris et al., 2014; Antov, Savov y Neykov, 2018; Ismail et al., 2020). Esta estrategia está orientada a desarrollar tableros con mejores características de resistencia mecánica y de desempeño en condiciones reales de servicio.

Un segundo enfoque es determinar las características físicas y mecánicas estudiando TDM fabricados a escala industrial y accesibles en el mercado de materiales para la construcción (Mirbolouk y Roohnia, 2015; Guan et al., 2019; Simon et al., 2020). Esta perspectiva permite determinar su calidad y su clasificación en función del uso final del material.

En la práctica, los TDM compiten comercialmente con la madera aserrada de *Pinus spp.* La selección se realiza sin ningún criterio tecnológico y se debe principalmente a la escasa información tecnológica de estos productos. En México, la información del módulo dinámico y del índice material de los TDM se puede encontrar en los trabajos experimentales realizados por Sotomayor et al., (2011). Datos para la madera sólida de maderas mexicanas están publicados por Sotomayor (2019). El conocimiento empírico de los usuarios de TDM y de madera sólida les permite seleccionar entre estos dos materiales y emplear el más conveniente, sin embargo, es recomendable contar con datos derivados de experimentos para mejorar su utilidad como material de ingeniería.

El objetivo de la investigación es determinar experimentalmente la densidad, la velocidad del ultrasonido, el módulo dinámico y el índice material de probetas elaboradas a partir de tableros comerciales de densidad media y de madera aserrada de *Pinus spp.*

Materiales y métodos

El material experimental consistió en tres tableros de fibras de madera clasificada como de densidad media y en seis piezas comerciales de madera del género *Pinus* clasificada como de primera calidad y secada en

estufa. Para corroborar que la madera en estudio pertenece al género de *Pinus*, se realizó la identificación del género de la madera en los laboratorios de mecánica de la madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Para las pruebas no destructivas se prepararon probetas con dimensiones de 60 cm de largo por 15 cm de ancho. El espesor de los tableros fue de 18 cm y para el *Pinus spp* fue de 20 cm. La Figura 1 muestra el recorte de probetas TDM respecto al sentido de la línea de producción. Las probetas de *Pinus* se recortaron al azar en las piezas de madera y se almacenaron durante seis meses en una cámara de acondicionamiento con temperatura de 20 °C (± 1 °C) y humedad relativa del aire de 65 % (± 5 %) hasta que su peso fue constante.

El contenido de humedad se determinó utilizando dos grupos complementarios de 40 probetas con dimensiones de 7 x 7 cm. Estas probetas se obtuvieron de los tres TDM y de las seis piezas madera de *Pinus spp.* El contenido de humedad de las probetas se calculó con la relación peso húmedo al momento del ensayo dividido por su peso en estado anhidro, según lo indica la norma ISO 13061-1:2014 (ISO, 2014a). La densidad de la madera correspondiente a un contenido de humedad se calculó con el peso de las probetas dividido por el volumen al momento de las pruebas de ultrasonido, como lo indica la norma ISO 13061-2:2014 (ISO, 2014b).



Figura 1. Recorte de probetas en los tableros de densidad media respecto al sentido de la línea de producción.

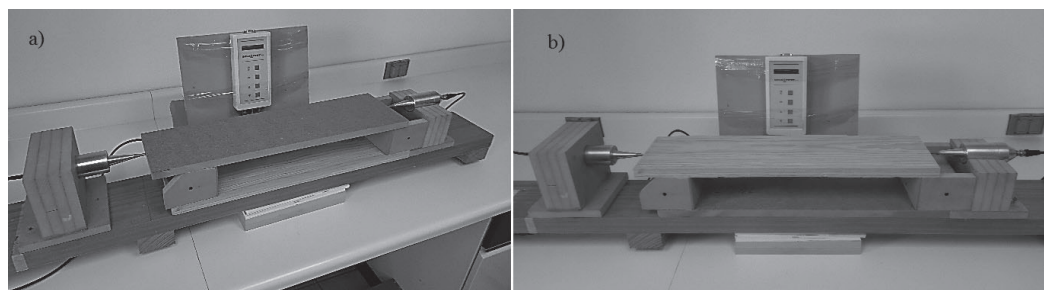


Figura 2. Pruebas de ultrasonido. a) Tableros de densidad media; b) Madera sólida de *Pinus spp.*

Las pruebas no destructivas consistieron en medir el tiempo de transmisión del ultrasonido empleando el aparato *Sylvatest*®, colocando el emisor y el receptor en los extremos de las probetas como se muestra en las Figuras 2a (TDM) y 2b (*Pinus spp*). La medición se realizó en la dirección longitudinal con el emisor ajustado a una frecuencia de 22 kHz. La velocidad del ultrasonido se calculó con el cociente de la distancia entre los sensores emisor-receptor y el tiempo medido por el aparato. El módulo dinámico se calculó con la ecuación (1).

$$E_{us} = \rho_{CH} \times v_{us}^2 \quad (1)$$

donde E_{us} es el módulo dinámico ($N \cdot m^2$), ρ_{CH} es la densidad ($kg \cdot m^{-3}$) y v_{us} es la velocidad del ultrasonido ($m \cdot s^{-1}$). El índice material se calculó con la ecuación (2).

$$I_{us} = E_{us} / \rho_{CH} \quad (2)$$

donde I_{us} es el Índice material ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$).

Diseño experimental

La unidad experimental consistió en un primer grupo de 96 probetas de TDM y en un segundo grupo de 40 probetas de madera aserrada de *Pinus spp*. Se recoraron 48 probetas de TDM en la dirección paralela y 48 en la dirección transversal al sentido de la línea de producción de los TDM (ver la Figura 1). Las variables de respuesta fueron la densidad (ρ_{CH}) y la velocidad del ultrasonido (v_{us}). Las variables derivadas fueron el módulo dinámico (E_{us}) y el índice material (I_{us}).

Se realizaron pruebas de normalidad para la distribución de la densidad y de la velocidad del ultrasonido de las muestras de los TDM y de *Pinus spp*. El criterio de demarcación para considerar una distribución normal son valores del sesgo (S) y del apuntamiento (A) al interior del intervalo $[-2 < S \text{ y } A < +2]$. Se

comparó la densidad y la velocidad del ultrasonido entre ambas muestras, aplicando pruebas t-Student de comparación de medias con la hipótesis nula: $H_0: \mu_{TDM} = \mu_{Pinus}$ para un nivel de confianza de 95 %. El criterio de demarcación para rechazar la hipótesis nula fue un valor de $P_{(\alpha=0.05)} < 0.05$. Los resultados de la presente investigación se contrastaron con correlaciones lineales ($y = ax + b$) calculadas con los datos reportados por Sotomayor (2019). Para verificar la sensibilidad del aparato que genera el ultrasonido, se calculó la longitud de onda con la ecuación (3).

$$\lambda = v_{us} / f \quad (3)$$

donde λ es la longitud de onda (m), y f es la frecuencia del emisor de ultrasonido (22 kHz).

Resultados y discusión

Los resultados de las pruebas de normalidad indican para la densidad de los TDM valores de sesgo $S = -0.006$ y de apuntamiento $A = 0.413$; para la densidad del *Pinus spp* $S = -0.458$ y $A = -0.901$. Para la velocidad del ultrasonido, el valor de los TDM es $S = -1.410$ y $A = 1.251$; para la muestra de *Pinus spp* $S = -1.179$ y $A = 0.286$. Estos estadísticos permiten considerar que las muestras tienen distribuciones normales.

Para la densidad y la velocidad del ultrasonido, las pruebas de diferencias de medias entre los TDM y *Pinus spp* indican diferencias estadísticamente significativas ($P_{(\alpha=0.05)} < 0.05$). Este corolario se verifica, por una parte, con la diferencia aritmética de -7 % entre las densidades del *Pinus spp* respecto a la de los TDM. Además, y en sentido opuesto, los otros parámetros de la madera sólida de *Pinus spp* son mayores que los valores de los TDM: la velocidad del ultrasonido +142 %, el módulo dinámico +447 % y el índice material +491 %. (ver la Tabla 1).

Tabla 1. Densidad, velocidad del ultrasonido, módulo dinámico e índice material.

	Densidad ρ_{CH} ($kg \cdot m^{-3}$)	Velocidad del ultrasonido v_{us} ($m \cdot s^{-1}$)	Módulo dinámico E_{us} ($MN \cdot m^{-2}$)	Índice material I_{us} ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$)
Tableros de densidad media (TDM, 96 probetas, CH = 7 %)				
μ	640	2218	3151	4.92
σ	5.6	20	58	0.09
CV	(1)	(1)	(2)	(2)
Madera sólida de <i>Pinus spp</i> (40 probetas, CH = 10 %)				
μ	595	5366	17229	29.09
σ	47	556	3275	5.62
CV	(8)	(10)	(19)	(19)

CH = Contenido de humedad, μ = Media, σ = Desviación estandar, CV = Coeficiente de variación en por ciento y entre paréntesis.

Tabla 2. Datos de la bibliografía: densidad, velocidad del ultrasonido, módulo dinámico e índice material (Sotomayor et al., 2011; Sotomayor, 2019).

	Densidad ρ_{CH} ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Velocidad del ultrasonido v_{us} ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Módulo dinámico E_{us} ($\text{MN}\cdot\text{m}^{-2}$)	Índice material I_{us} ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Tableros de densidad media (Sotomayor et al. 2011)				
<i>Pinus spp</i>	628	2212	3073	4.89
Madera sólida de <i>Pinus spp</i> (Sotomayor, 2009)				
<i>Pinus douglasiana</i>	367	5676	11824	32.22
<i>Pinus michoacana</i>	369	5185	9920	26.88
<i>Pinus pringlei</i>	471	5137	12429	26.39
<i>Pinus pseudostrobus</i>	513	5312	14475	28.22
<i>Pinus douglasiana</i>	535	6222	20712	38.71
Promedio	451	5506	13872	30.48

La densidad promedio de los TMD se sitúa dentro del intervalo ($500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) establecido por la norma ANSI A208.2-2016 para tableros de fibra de madera de densidad media (ANSI, 2016). Por su parte, la densidad de *Pinus spp* califica como media para maderas mexicanas (Sotomayor y Ramírez, 2013) y es comparable con valores reportados para especies mexicanas por Sotomayor (2019). Igualmente, la magnitud del módulo dinámico determinado en la presente investigación es comparable con los datos reportados por Sotomayor (2011, 2019) (ver la Tabla 2).

Akgül et al., (2017) reportan para los TMD elaborados en laboratorio con maderas de *Pinus sylvestris*, *Fagus orientalis* y *Quercus robur*, una densidad de $707 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y un módulo de elasticidad estático de $4248 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$. La magnitud del módulo de elasticidad es mayor 34.8 % respecto al determinado en la presente investigación. Sin embargo, es proporcional debido a la diferencia entre densidades de +10.5 %. Por su parte, Sekino y Sasaki (2004) reportan para TMD comerciales con densidad de $670 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, un módulo de elasticidad estático de $3340 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$, valores proporcionales a los calculados en esta investigación. No obstante, Simon et al. (2020) reportan para TMD comerciales una densidad de $589 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y un módulo de elasticidad elástico de $1500 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$, resultados que no siguen el paradigma del aumento proporcional del módulo de elasticidad de los TMD cuando su densidad aumenta (Ganev et al., 2005; Cai, Muehle y Winandy, 2006; Hong, Lubis y Park, 2017). De lo anterior se infiere que la densidad y el módulo de elasticidad de los TMD varían según la especie, las condiciones de manufactura y de determinación.

Los coeficientes de variación de la densidad y de la velocidad del ultrasonido medidos en los TMD va-

rían entre 1 % y 2 %. Estos valores son menores en comparación con los coeficientes de variación correspondientes a los parámetros del *Pinus spp*, que fluctúan entre un mínimo de 8 % correspondiente a la densidad y un máximo de 19 % para el módulo dinámico y el índice material (ver la Tabla 1). Para ilustrar este resultado, la Figura 3 muestra la dispersión de la velocidad del ultrasonido en función de la densidad, tanto para los TDM como para la madera de *Pinus spp*. Mientras que los valores de los TDM se agrupan en una ventana amplia, los correspondientes a *Pinus spp* se concentran en una ventana estrecha.

Comparando la velocidad del ultrasonido de *Pinus spp* determinada en la presente investigación con los datos de Sotomayor (2019), se puede afirmar que este parámetro es independiente de la densidad. En efecto, la correlación estimada con datos de la bibliografía (ver la Figura 4) indica un coeficiente de determinación nulo ($R^2 = 0.14$). En el mismo contexto, la magnitud de la velocidad del ultrasonido de los TDM de esta investigación es del mismo orden que la reportada en Sotomayor et al. (2011) (ver la Tabla 2 y Figura 4).

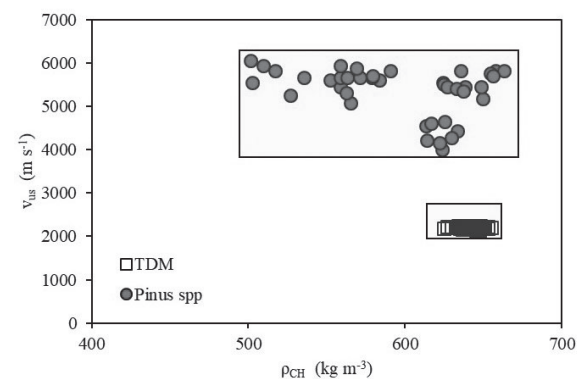


Figura 3. Dispersión de la velocidad del ultrasonido en función de la densidad.

La dispersión del módulo dinámico de esta investigación respecto a su densidad, presenta el mismo aspecto que el de la velocidad del ultrasonido.

No se observó diferencia en los valores de la velocidad del ultrasonido entre las direcciones paralela y transversal al sentido de la línea de producción de los TDM. Estos resultados coinciden con los de Sotomayor et al. (2011). Para TDM Sotomayor et al. (2011) reportan una relación de anisotropía de 1.02 entre las direcciones paralela y transversal al sentido de la línea de producción (ver la Figura 1). Sus velocidades del ultrasonido para los tableros de partículas de madera con densidad de $628 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ son: en la dirección paralela $2231 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; y en la dirección perpendicular $2194 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, valores cuyo promedio de $2212 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ es similar al reportado en la presente investigación de $v_{us} = 2218 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (ver la Tabla 1).

El módulo dinámico de los TDM es mayor 2.5 % respecto al reportado por Sotomayor et al. (2011). La semejanza en magnitudes posiblemente es debida a que los resultados de la presente investigación fueron obtenidos con una estrategia similar a la de los autores citados. Por otra parte, y comparativamente con datos de la bibliografía, el módulo dinámico del *Pinus spp* es mayor 24 % respecto al promedio del de la bibliografía (ver la Tabla 2). Estos resultados se ilustran de manera gráfica en la Figura 5. Los resultados y datos de los TDM se agrupan en una pequeña ventana, mientras que los del módulo dinámico siguen una correlación con un coeficiente de determinación medio ($R^2=0.67$).

No se observó diferencia de los valores del módulo dinámico entre las direcciones paralela y transversal al sentido de la línea de producción de los TDM (ver la Figura 1). Este resultado característico de los

tableros de fibra de madera difiere respecto a los tableros de partículas de madera. Popovska, Iliev y Spiroski (2016) reportan valores del módulo de elasticidad estático para tableros comerciales de partículas de madera con densidad de $703 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. En la dirección transversal al sentido de la línea de producción es de $3347 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$ y para la dirección paralela es de $3209 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$. Estos resultados implican una relación de anisotropía de 1.04 en el plano del tablero que forman estas dos direcciones. Este fenómeno fue observado igualmente por Sotomayor (2003) en tableros de partículas con densidad de $726 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. En pruebas de vibraciones trasversales, la relación de anisotropía fue de 1.14; en ondas de esfuerzo fue de 1.12; y en flexión estática fue de 1.15. Sus valores del módulo dinámico por ultrasonido son para la dirección paralela $3129 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$ y para la dirección perpendicular $3022 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$ y su promedio $E_{us} = 3076$, magnitud mayor 1.7 % respecto a la determinada en la presente investigación $E_{us} = 3151 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$ (ver la Tabla 1).

El índice material de la madera de *Pinus spp* es 491 % mayor que el de los tableros de densidad media (ver la Tabla 1). Dado que el módulo dinámico y el índice material se calculan a partir de la densidad y de la velocidad del ultrasonido (ecuaciones 1 y 2), sus coeficientes de variación son similares. Asimismo, el índice material y la densidad correlacionan con la regresión $I_{us} = 0.025, \rho_{CH} + 19.36$ con un coeficiente de determinación nulo e igual al de la correlación entre la velocidad del ultrasonido y la densidad ($R^2 = 0.14$).

Además, y al igual que para la densidad y la velocidad del ultrasonido, los coeficientes de variación de los TDM son menores en proporciones que van desde ocho veces para la densidad, el módulo dinámico y el índice material, hasta diez veces para la velocidad

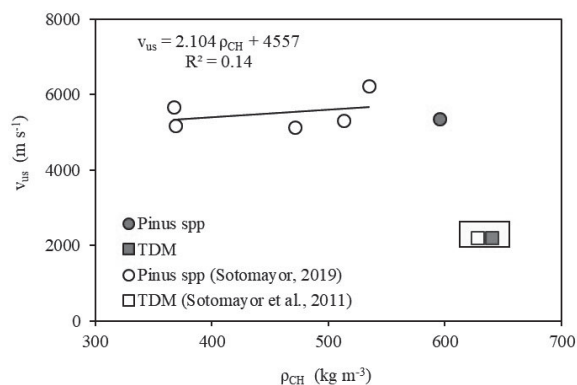


Figura 4. Correlación de la velocidad del ultrasonido en función de la densidad y datos de Sotomayor et al. (2011) y Sotomayor (2019).

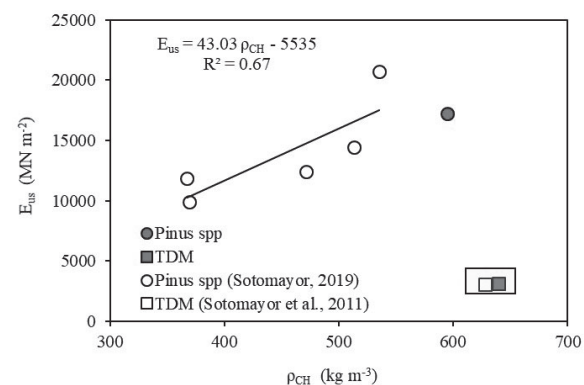


Figura 5. Correlación del módulo dinámico en función de la densidad y datos de Sotomayor et al. (2011) y Sotomayor (2019).

del ultrasonido. Así, los TDM son un material más homogéneo que la madera aserrada de *Pinus spp*, en lo que se refiere a las características tecnológicas discutidas en esta investigación.

Longitud de onda

Para minimizar el efecto de la propagación del ultrasonido en un medio finito, la distancia entre los sensores, es decir, la distancia de recorrido, debe ser mayor a la longitud de onda (Bartholomeu, Gonçalves y Bucur, 2003). En esta investigación, la longitud de onda promedio para los TDM fue $\lambda=0.101$ m y para la madera sólida $\lambda=0.244$ m. Así, la distancia entre sensores para la dirección longitudinal satisface este requerimiento, lo que valida la sensibilidad del aparato empleado para medir el tiempo de transmisión del ultrasonido.

En el mismo contexto, las dimensiones y acomodo de las células, rayos y canales resiníferos de la madera de *Pinus spp* intervienen en la precisión

Conclusiones

No obstante que la densidad del *Pinus spp* es menor que la de los TDM, se verifica que las magnitudes del módulo dinámico y del índice material de la madera sólida de *Pinus spp* son mayores que las de los TDM.

La densidad de la madera sólida de *Pinus spp* es menor que la de tableros comerciales de densidad media. Sin embargo, la determinación experimental de la velocidad del ultrasonido, del módulo dinámico y del índice material de tableros comerciales de densidad media permitió verificar que el módulo dinámico y el índice material de la madera sólida de *Pinus spp* son mayores que los de tableros de densidad media.

Los resultados de la presente investigación, con carácter exploratorio, resultaron estadísticamente ho-

de la medición de la velocidad del ultrasonido, que a la vez depende de la frecuencia del emisor. La longitud de onda generada en el material debe ser mayor que la dimensión máxima de los elementos anatómicos (Bucur y Declercq, 2006). En la presente investigación, el diámetro máximo de los elementos anatómicos en el plano radial-tangencial se estima en 1 mm y en la dirección longitudinal el largo de las fibras en 5 mm. Además, el espesor máximo de una capa de crecimiento se considera en 10 mm (Guitard y Gachet, 2004; Richter et al., 2004).

En este sentido, las longitudes de onda calculadas con la ecuación (3) son mayores que los diámetros celulares y los espesores de las capas de crecimiento en las direcciones radial y tangencial. Para la dirección longitudinal, las longitudes de onda son también mayores que el largo de las células. Así, se puede suponer que la onda no se dispersó ni se atenuó de manera significativa (Bucur y Declercq, 2006; Kohlhauser y Hellmich, 2012).

mogéneos y con bajos coeficientes de variación. Además, sus magnitudes son similares a los reportados en la literatura. En el mismo sentido, la configuración experimental cumplió con el requisito de longitud de onda necesario para una correcta medición del ultrasonido en la madera de *Pinus spp* y en los tableros de densidad media.

El ultrasonido es eficaz para determinar la velocidad del ultrasonido en probetas de tableros de media densidad y en madera sólida de *Pinus spp*. El alcance de la presente investigación es informativo y está restringido para el caso de estudio de los materiales examinados y considerando las condiciones experimentales especificadas.

Bibliografía

- Akgül, M., Uner, B., Çamlıbel, O., and Ayata, Ü. (2017). Manufacture of medium density fiberboard (MDF) panels from agribased lignocellulosic biomass. *Wood Research*. 62(4):615-624.
- ANSI. (2016). ANSI A208.2-2016. Medium Density Fiberboard (MDF) for Interior Applications. Washington: ANSI.
- Antov, P., Savov, V., and Neykov, N. (2018). Influence of the Composition on the Exploitation Properties of Combined Medium Density Fibreboards Manufactured with Coniferous Wood Residues. *European Mechanical Science*. 2(4):140-145.
- Bartholomeu, A., Gonçalves, R., and Bucur, V. (2003). Dispersion of ultrasonic waves in *Eucalyptus* lumber as a function of the geometry of boards. *Scientia Forestalis*. 63:235-240.
- Bucur V., and Declercq, N. F. (2006). The anisotropy of biological composites studied with ultrasonic technique. *Ultrasonics*. 44:e829-e831.
- Cai, Z., Muehle, J. H., and Winandy, J. E. (2006). Effects of panel density and mat moisture content on processing medium density fiberboard. *Forest Products Journal*. 56(10):20-25.

- Ganev, S., Gendron, G., Cloutier, A., and Beauregard, R. (2005). Mechanical Properties of MDF as a Function of Density and Moisture Content. *Wood and Fiber Science*. 37(2):314-326.
- Guan, C., Liu, J., Zhang, H., Wang, X., and Zhou, L. (2019). Evaluation of modulus of elasticity and modulus of rupture of full-size Wood composite panels supports on two nodal-lines using a vibration technique. *Construction and Building Materials*. 218:64-72.
- Guitard, D., et Gachet, C. (2004). Paramètres structuraux et/ou ultrastructuraux facteurs de la variabilité intra-arbre de l'anisotropie élastique du bois. *Annals of Forest Science*. 61(2):129-139.
- Hong, M., Lubis, M. A. R., and Park, B. (2017). Effect of Panel Density and Resin Content on Properties of Medium Density Fiberboard. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 45(4):444-455.
- Ismail, N., Jomali, M. A. M., Bakar, H. A., Ghing, T. Y., Soh, N. M. Z. N., and Azam, R. M. A. M. (2020). Influence of varying density on the mechanical and physical properties of Medium Density Fibreboard (MDF) containing kenaf. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 713:012020.
- ISO. (2014a). ISO 13061-1:2014. Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests. Geneva: ISO/IEC Office.
- ISO. (2014b). ISO 13061-2:2014. Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. Geneva: ISO/IEC Office.
- Kohlhauser, C., and Hellmich, C. (2012). Determination of Poisson's ratios in isotropic, transversely isotropic, and orthotropic materials by means of combined ultrasonic-mechanical testing of normal stiffnesses: application to metals and wood. *European Journal of Mechanics-A/Solids*. 33:82-98.
- Mirbolouk, P., and Roohnia, M. (2015). Evaluation of Dynamic Modulus of Elasticity of Medium Density Fiberboard Panel from Longitudinal Vibration Tests on Specimens. *Bioresources*. 10(1):613-621.
- Popovska, V. J., Iliev, B., and Spiroski, I. (2016). Characteristics of Medium Density Fiberboards for Furniture Production and Interior Application. *South East European Journal of Architecture and Design*. 2016:10013. 5 p.
- Richter, H. G., Grosser, D., Heinz, I., and Gasson, P. E. (2004). IAWA list of microscopic features for softwood identification. *Iawa Journal*. 25(1):1-70.
- Sekino, N., and Sasaki, T. (2004). Poisson's Ratio of Wood-Based Panels and Poisson's Effect of Hygroscopic Linear Expansion under a Uniaxially Dimensional Restraint. *Journal of the Society of Materials Science*. 53(4):396-401.
- Simon, V., Uitterhaegen, E., Robillard, A., Ballas, S., Véronèse, T., Vilarem, G., Merah, O. Talou, T., and Evon, P. (2020). VOC and carbonyl compound emissions of a fiberboard resulting from a coriander biorefinery: comparison with two commercial wood-based building materials. *Environmental Science and Pollution Research*. 27:16121-16133.
- Sliseris, J., Andrä, H., Kabel, M., Dix, B., Plinke, B., Wirjadi, O., and Frolovs, G. (2014). Numerical prediction of the stiffness and strength of medium density fiberboards. *Mechanics of Materials*. 79:73-84.
- Sotomayor C., J. R. (2003). Caracterización mecánica de madera reconstituida. Módulo de Elasticidad de Tableros de Partículas de Madera evaluado con métodos no destructivos. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 5(1):20-43.
- Sotomayor C., J. R. (2019). Módulos de elasticidad e índices de calidad de maderas mexicanas. Síntesis de datos del Laboratorio de Mecánica de la Madera. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. 15(1):4-64.
- Sotomayor C., J. R., Correa O., V. E., García M., L. J., Hernández M., S. A., Moya L., C. E., Olguín C., J. B., y Zurita V., W. (2011). Caracterización mecánica de madera reconstituida. Tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados de madera evaluados con métodos no destructivos. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. 7(1):16-35.
- Sotomayor C., J. R., y Ramírez P., M. (2013). Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. 9(3):3-30.

Universidad Tecnológica de la Mixteca UTM



Infraestructura

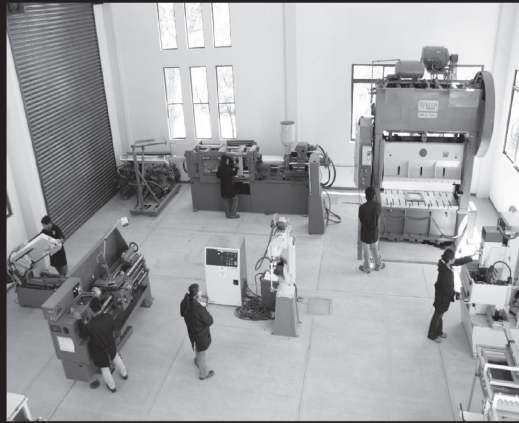
104 Ha. de dimensión
113 Edificios
48 Laboratorios
9 Talleres
Parque Tecnológico
Parque Solar Fotovoltaico
Agavetum



9 Institutos de Investigación

Instituto de Agroindustrias
Instituto de Computación
Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades
Instituto de Diseño
Instituto de Electrónica y Mecatrónica
Instituto de Física y Matemáticas
Instituto de Hidrología
Instituto de Minería
Instituto de Ingeniería Industrial y Mecánica Automotriz

Oferta Educativa



Licenciaturas

Ingeniería en Electrónica
Ingeniería en Computación
Ingeniería en Diseño
Ingeniería en Alimentos
Ingeniería Industrial
Ingeniería en Mecatrónica
Ingeniería en Física Aplicada
Ingeniería en Mecánica Automotriz
Ingeniería Civil
Licenciatura en Ciencias Empresariales
Licenciatura en Matemáticas Aplicadas
Licenciatura en Estudios Mexicanos (modalidad virtual)



Posgrado

Doctorado en Robótica
Doctorado en Modelación Matemática
Doctorado en Tecnologías de Cómputo Aplicado
Doctorado en Electrónica con especialidad en Sistemas Inteligentes Aplicados
Maestría en Robótica
Maestría en Medios Interactivos
Maestría en Administración de Negocios
Maestría en Tecnologías de Cómputo Aplicado
Maestría en Tecnología Avanzada de Manufactura
Maestría en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos
Maestría en Modelación Matemática
Maestría en diseño de Muebles
Maestría en diseño de Modas
Maestría en Ciencias de Materiales
Maestría en Electrónica con opción en Sistemas Inteligentes Aplicados
Maestría en Computación con especialidad en Sistemas Distribuidos (modalidad virtual)

INFORMES

Consulta las bases y requisitos en
www.utm.mx

