

MÓDULO DINÁMICO DE LA MADERA LAMINADA COMPUESTA DE TRES ESPECIES, DETERMINADO POR VIBRACIONES TRANSVERSALES

*DYNAMIC MODULE OF THREE SPECIES COMPOSITE LAMINATED
WOOD, DETERMINED BY TRANSVERSAL VIBRATIONS*

Javier Ramón Sotomayor Castellanos

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

madera999@yahoo.com

Recepción: 29/octubre/2019

Aceptación: 15/abril/2020

Resumen

La caracterización mecánica de la madera laminada promueve especies con baja apreciación comercial y su uso en ingeniería. Para esta investigación, se prepararon probetas de pequeñas dimensiones de madera sólida y madera laminada compuesta de las tres especies *Abies religiosa*, *Fraxinus uhdei* y *Alnus acuminata*. Se determinó su densidad aparente, su contenido de humedad y se realizaron pruebas de vibraciones transversales para establecer sus módulos dinámicos. En comparación con la madera sólida, la madera laminada mostró un aumento de la magnitud de la densidad aparente: un 41.2% para *A. religiosa* y 3.8% para *A. acuminata*; sin embargo, disminuyó un 5.9% para *F. uhdei*. Igualmente, la magnitud del módulo dinámico de la madera laminada aumentó: 52.3% para *A. religiosa*, 65.7% para *F. uhdei* y 25.8% para *A. acuminata*. Los coeficientes de variación para la madera laminada fueron menores que los correspondientes a la madera sólida de cada especie.

Palabras clave: *Abies religiosa*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus uhdei*, densidad normal de la madera

Abstract

*The mechanical characterization of laminated wood promotes species with low commercial appreciation and their use in engineering. For this investigation, small specimens of solid and laminated wood of the species *Abies religiosa*, *Fraxinus**

uhdei and *Alnus acuminata* were prepared. Its apparent density, its moisture content were determined and tests of transverse vibrations were performed to establish its dynamic modules. In comparison with solid wood, laminated wood showed an increase in the magnitude of the apparent density: 41.2% for *A. religiosa* and 3.8% for *A. acuminata*; however, it decreased 5.9% for *F. uhdei*. Similarly, the magnitude of the dynamic modulus of laminated wood increased: 52.3% for *A. religiosa*, 65.7% for *F. uhdei* and 25.8% for *A. acuminata*. The coefficients of variation for laminated wood were lower than those for solid wood.

Keywords: *Abies religiosa*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus uhdei*, Wood density

1. Introducción

La caracterización mecánica de la madera laminada encuentra su aplicación en diferentes ámbitos. Por una parte, beneficia especies con menor apreciación comercial debido a los bajos valores de su densidad y de su resistencia mecánica; así mismo se aprovechan los troncos de cortas dimensiones para fabricar grandes piezas de madera laminada [Walker, 2006]. Mientras que la madera aserrada es estructuralmente heterogénea y variable entre especies, las piezas de madera laminada pueden satisfacer requisitos del diseño en ingeniería al ser un material sin límite en sus dimensiones o formas y con características mecánicas mejor definidas [Podesto y Breneman, 2016; Köhler, 2007]. A pesar de las ventajas en la madera laminada, no existen muchos estudios sobre la caracterización dinámica de las maderas que pueden aprovecharse con esta tecnología. Esta situación es más evidente para especies de América Latina. Ninin *et al.* [2010], Shirazinia *et al.* [2011], López *et al.* [2013], Segundinho *et al.* [2013], Teles *et al.* [2010], Teles *et al.* [2013] y Tuisima-Coral *et al.* [2017] reportan investigaciones que proponen la necesidad de caracterizar piezas de madera laminada y estudiar su variación en la densidad y en el módulo dinámico. Dicha estrategia repercutirá en una mejor valoración de los recursos forestales y en un mejor aprovechamiento ecológicamente sustentable. Teles *et al.* [2010] han determinado la densidad normal (ρ_{CH}) y el módulo dinámico (E_{vt}) por medio de vibraciones transversales para madera laminada de la especie *Sextonia rubra* ($\rho_{CH} = 660 \text{ kg/m}^3$, coeficiente de variación $CV = 8.7 \%$; $E_{vt} = 15505$

MN/m², CV = 15.7 %). Estos autores concluyen que las propiedades mecánicas de la madera laminada dependen en gran medida de la resistencia mecánica de las tabletas con que se fabrican los especímenes en estudio. Desde otra perspectiva, Segundinho *et al.* [2013] enfocan sus investigaciones en los valores del módulo dinámico a través de vibraciones transversales y su comparación con los determinados en flexión estática. Para madera laminada de la especie *Erismia uncinatum*, reportan siguientes valores: densidad normal de 630 kg/m³, módulo dinámico determinado en vibraciones transversales de 11515 MN/m² y coeficientes de variación del 9.4% para ambos parámetros. Las investigaciones reportan una diferencia del 2.5% entre módulos dinámico y estático (11240 MN/m², CV = 11.2 %). Para esta investigación, se prepararon probetas de madera sólida y madera laminada compuesta de tres especies de México y Centroamérica [Tamarit y López, 2007]: *Abies religiosa* [Kunth Schltld. et Cham.], *Fraxinus uhdei* [Wenz.] Lingelsh. y *Alnus acuminata* Kunth. Sotomayor [2015] proporciona información sobre su densidad normal y sus módulos dinámicos determinados en vibraciones transversales. Sin embargo, no se tiene conocimiento sobre estudios previos respecto a la determinación del módulo dinámico en vibraciones transversales de madera laminada compuesta que haya sido fabricada con estas tres especies.

La hipótesis de trabajo de esta investigación plantea que la magnitud promedio del módulo dinámico de la madera laminada compuesta, fabricada con láminas de *A. religiosa*, *F. uhdei* y *A. acuminata*, es superior en comparación con la magnitud de la madera sólida de cada una de estas especies. La hipótesis está restringida para las condiciones experimentales de esta investigación, en la cual se realizaron pruebas de vibraciones transversales. Para verificar esta hipótesis, los objetivos de la investigación fueron determinar el módulo dinámico en madera sólida de las especies *A. religiosa*, *F. uhdei* y *A. acuminata*; y verificar si la magnitud de este es superior en la madera laminada compuesta confeccionada con estas tres especies.

2. Métodos

Se recolectaron piezas comerciales de madera aserrada de *A. religiosa*, *F. uhdei* y *A. acuminata* en aserraderos del estado de Michoacán (19° 10' 07" Latitud Norte,

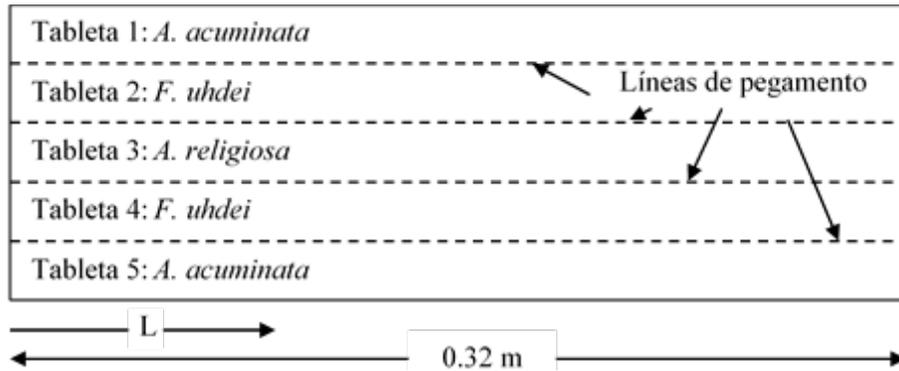
101° 53' 59" Longitud Oeste), México. La madera se almacenó durante 24 meses en una cámara de acondicionamiento, con temperatura de 20 °C (± 1 °C) y humedad relativa del aire de 65% (± 2 %), hasta que su peso fue constante. Para cada especie se prepararon 35 probetas de acuerdo a la norma ISO 3129:2012 [International Organization for Standardization, 2012]; con dimensiones de 20 x 20 x 500 mm respectivamente, en las direcciones radial, tangencial y longitudinal de la madera. Estos grupos de probetas fueron definidos como madera sólida, las cuales no contenían anomalías estructurales ni defectos de crecimiento.

La estrategia experimental consistió en dos etapas: en la primera se determinó el contenido de humedad y la densidad normal en las probetas de madera sólida; la segunda etapa consistió en llevar a cabo pruebas de vibraciones transversales en dichas probetas. Una vez realizadas las primeras series de pruebas en madera sólida, las probetas se recortaron en láminas con espesor de 3.27 mm, ancho de 17.65 mm y largo de 320 mm en dirección longitudinal. En la segunda etapa se elaboró un grupo de probetas de madera laminada a partir de las tabletas, a las que se realizaron pruebas de vibraciones transversales y se calculó su contenido de humedad y densidad normal.

Las probetas de madera sólida y de madera laminada fueron las mismas utilizadas por Sotomayor y Ruiz [2017] en un estudio paralelo a la presente investigación. En la elaboración de las probetas de madera laminada, las tabletas se posicionaron de acuerdo con la estructura mostrada en la figura 1, siguiendo la propuesta de Kandler y Füssl [2017] acerca de que la madera laminada refleja, hasta cierto punto, las características de la densidad normal y del módulo dinámico de la madera con que se fabrica. Para adherir las tabletas, se aplicaron 2.5 kg/m² de pegamento de acetato de polivinilo, repartidos en las cuatro caras interiores de las probetas correspondientes al plano longitudinal-radial.

Una vez armadas las probetas, se colocaron en un dispositivo *ad hoc*, y se prensaron en dirección tangencial hasta que las probetas alcanzaron una altura o espesor uniforme de 17 mm. Con el objetivo de solidificar el adhesivo, el tiempo de prensado fue de 48 horas en ambiente de laboratorio (temperatura de 20 °C y humedad relativa del 65%). Finalmente, las probetas de madera laminada se

almacenaron durante tres meses en la cámara de acondicionamiento, con las circunstancias de temperatura y humedad relativa del aire antes citadas, hasta que su peso fue constante.



Fuente: [Sotomayor y Ruiz, 2017]

Figura 1 Estructura de las probetas de madera laminada. L: dirección longitudinal.

Para estimar la densidad normal de la madera, se adaptó la norma ISO 13061-2:2014 [International Organization for Standardization, 2014b] y para determinar su contenido de humedad se siguieron las indicaciones de la norma ISO 13061-1:2014 [International Organization for Standardization, 2014a]. Además, para la determinar la densidad y contenido de humedad se prepararon tres lotes adicionales de 35 probetas correspondientes a cada una de las especies, con dimensiones de 2 x 2 x 6 cm. La densidad normal de la madera se calculó con la ecuación 1 [International Organization for Standardization, 2014a].

$$\rho_{CH} = \frac{P_1}{V_1} \quad (1)$$

Donde:

ρ_{CH} : Densidad aparente para un contenido de humedad CH (kg/m³).

P_1 : Peso de la probeta al momento del ensayo (kg).

V_1 : Volumen de la probeta al momento del ensayo (m³).

El contenido de humedad de la madera se calculó con la ecuación 2 [International Organization for Standardization, 2014b].

$$CH = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100 \quad (2)$$

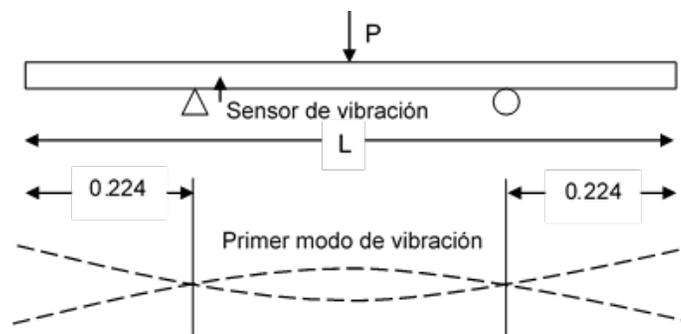
Donde:

CH : Contenido de humedad (%).

P_1 : Peso de la probeta al momento del ensayo (kg).

P_2 : Peso de la probeta en estado anhidro ($CH \approx 0\%$) (kg).

Las pruebas de vibraciones transversales siguieron el procedimiento reportado por Sotomayor y Villaseñor [2016] y consistieron en medir la frecuencia natural de la vibración perpendicular a lo largo de la probeta (figura 2).



Fuente: [Sotomayor y Villaseñor, 2016].

Figura 2 Configuración de las pruebas. P = Impacto; L = longitud de la probeta.

El impulso elástico inicial fue aplicado por un impacto (P) en el centro geométrico de la cara superior en la dirección tangencial de la probeta, que se encontraba apoyada sobre dos soportes rígidos de tipo simple, los cuales estaban ubicados a una distancia nodal de $0.224 L$ respecto al extremo de la probeta. De esta forma, el movimiento inducido fue a través de vibraciones libres. El ensayo dinámico en cada probeta se repitió tres veces y el promedio de valores fue considerado para su análisis posterior. Durante la realización de la prueba se calculó el momento de inercia en la sección transversal de la probeta correspondiente al ensayo. El módulo dinámico por medio de vibraciones transversales se calculó con la ecuación 3 [Machek *et al.*, 2001].

$$E_{vt} = \frac{4 \pi^2 L_{vt}^4 f_{vt}^2 \rho_{CH}}{m^4 r^2} \left(1 + \frac{r^2}{I_{vt}^2} K \right) \quad (3)$$

Donde:

E_{vt} : Módulo dinámico (N/m²).

L_{vt} : Longitud de la probeta (m).

l_{vt} : Distancia entre apoyos (m).

f_{vt} : Frecuencia natural de la probeta (Hz).

m, K : Constantes adimensionales (12.65; 49.48).

$r = \sqrt{I/A}$: Radio de giro de la sección transversal de la probeta (m).

I : Momento de inercia de la sección transversal de la probeta (m⁴).

A : Área de la sección transversal de la probeta (m²).

Diseño experimental

Se consideraron dos lotes independientes: la madera laminada compuesta y la madera sólida de *A. religiosa*, *F. uhdei* y *A. acuminata*. La variable de respuesta fueron la densidad normal (ρ_{CH}) y el módulo dinámico (E_{vt}). Se calcularon la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación porcentual. Se verificó la normalidad de la distribución de las muestras. Como criterio de demarcación para las pruebas de normalidad, se aceptaron los valores del sesgo estandarizado (SE) y del apuntamiento estandarizado (AE) al interior del intervalo [-2, +2]. Cuando los valores de SE y AE confirmaron la normalidad en la distribución de las muestras, se procedió a la verificación y al análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%. En este caso, el criterio de demarcación fue aceptar un valor $P_{(\alpha = 0.05)} > 0.05$ para admitir que no existe una diferencia significativa entre las desviaciones estándar y entre las medias. De esta manera, se realizaron pruebas de rangos múltiples para determinar cuáles medias fueron diferentes significativamente entre ellas.

3. Resultados

El contenido de humedad de la madera fluctuó entre 11.2 y 11.6%, con un coeficiente de variación del 4.1%. Este parámetro se consideró uniforme y sin influencia en el análisis de los resultados, ya que el material experimental analizado (especies y probetas) fue el mismo. La densidad normal de la madera laminada con relación a la de la madera sólida, fue mayor en un 41.2% respecto a la de las probetas de madera sólida de *A. religiosa* y 3.8% para *A. acuminata*; sin embargo, fue menor 5.9% en comparación de *F. uhdei* (tabla 1).

Tabla 1 Densidad y módulo dinámico.

Especie	Estadístico	ρ_{CH}	E_{vt}
		(kg/m ³)	(MN/m ²)
Madera laminada	x	586	17224
	σ	17.0	1425
	CV	2.9	8.3
<i>Abies religiosa</i>	x	415	11309
	σ	24.7	1249
	CV	5.9	11.0
<i>Fraxinus uhdei</i>	x	623	10392
	σ	33.4	1103
	CV	5.3	10.6
<i>Alnus acuminata</i>	x	565	13695
	σ	23.6	1370
	CV	4.2	10.0
<p>ρ_{CH} = Densidad; E_{vt} = Módulo dinámico; x = Media; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación porcentual.</p>			

Los valores de los módulos dinámicos en vibraciones transversales (tabla 1) son comparables a los reportados por Sotomayor [2015]: *A. religiosa* E_{vt} = 11420 MN/m², ρ_{CH} = 419 kg/m³, CH = 11%; *F. uhdei* E_{vt} = 10607 MN/m², ρ_{CH} = 625 kg/m³, CH = 11%; *A. acuminata* E_{vt} = 13612 MN/m², ρ_{CH} = 567 kg/m³, CH = 11%.

4. Discusión

Los coeficientes de variación para las densidades normales son del mismo orden que los reportados por Tuisima-Coral *et al.* [2017] para *Guazuma crinita* (ρ_{CH} = 517 kg/m³, CH = 12%): 3 < CV < 5%. Para la densidad normal, las magnitudes del coeficiente de variación de la madera laminada, con relación a las de la madera sólida, disminuyeron en un 51% para *A. religiosa*, 45.6% para *F. uhdei* y 30.3% para *A. acuminata*.

La magnitud del módulo dinámico de la madera laminada, con relación a la de la madera sólida, es mayor que el generado individualmente por cada una de las tres especies: 52.3% que *A. religiosa*, 65.7% que *F. uhdei* y 25.8% que *A. acuminata* (tabla 1). Inversamente, el coeficiente de variación del módulo dinámico de la madera laminada, con relación al de la madera sólida disminuye en 25.1% para *A. religiosa*, 22.1% para *F. uhdei* y 7.3% para *A. acuminata* (tabla 1).

Si bien los valores promedio de las densidades y de los módulos dinámicos son similares a los datos publicados anteriormente, cada grupo de probetas originó una variabilidad diferente.

En la figura 3, se detallan las dispersiones de los módulos dinámicos en función de su densidad determinados para cada probeta de madera laminada y de madera sólida de las especies *A. religiosa*, *F. uhdei* y *A. acuminata*; por razones de escala no se visualizan todos los puntos experimentales. En efecto, las nubes de dispersión ilustran gráficamente los diversos valores de los coeficientes de variación calculados (tabla 1) y, al mismo tiempo, verifican los resultados de las pruebas de múltiples rangos (tabla 2). Las densidades no fueron homogéneas para ninguno de los cuatro materiales.

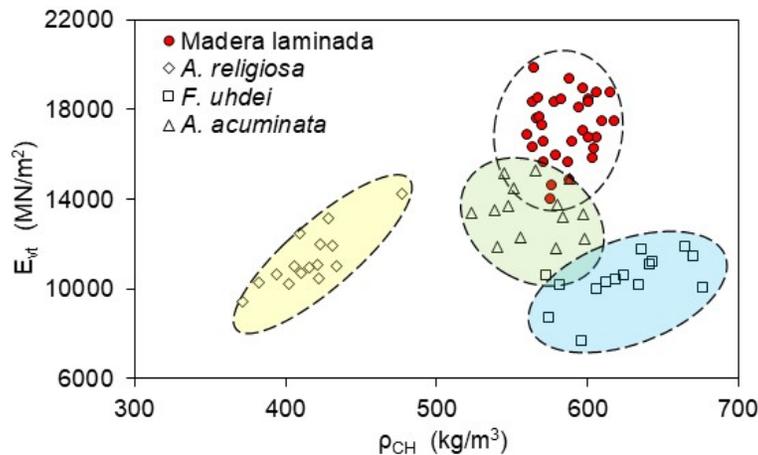


Figura 3 Dispersión del módulo dinámico (E_{vt}) en función de la densidad aparente (ρ_{CH}).

La figura 3 sugiere que la densidad de la madera de *A. religiosa* participa en menor proporción en la densidad de las probetas de madera laminada. La densidad normal de las probetas laminadas depende principalmente de las densidades de *F. uhdei* y *A. acuminata*. En ese sentido, no se diferenciaron los módulos dinámicos de la madera laminada y de *A. acuminata*. Por el contrario, los módulos dinámicos de *A. religiosa* y *F. uhdei* sí presentaron una distinción. Estos resultados sugieren que la madera laminada pondera, hasta cierto punto, las características de la densidad normal y del módulo dinámico de la madera con que se fabrica. Esta conclusión es de aplicación práctica en el diseño y cálculos ingenieriles [Kandler y Füssl, 2017].

Tabla 2 Resultados de las pruebas estadísticas.

ρ_{CH}	Prueba de normalidad		Pruebas de múltiples rangos			
	SE	AE	Grupos homogéneos			
Madera laminada	0.2655	-1.4734	X			
<i>Abies religiosa</i>	1.0638	1.7261		X		
<i>Fraxinus uhdei</i>	-0.0404	-0.7421			X	
<i>Alnus acuminata</i>	-0.2536	-1.0142				X
	Verificación de varianza		Análisis de varianza			
Valor P $P_{(\alpha = 0.05)}$	0.3346*		< 0.0001**			
E_{vt}	Prueba de normalidad		Pruebas de múltiple rangos			
	SE	AE	Grupos homogéneos			
Madera laminada	-0.7939	-0.4833		X		
<i>Abies religiosa</i>	1.5778	0.7127	X			
<i>Fraxinus uhdei</i>	-1.7020	1.3183	X			
<i>Alnus acuminata</i>	0.6329	-0.3466				X
	Verificación de varianza		Análisis de varianza			
Valor P $P_{(\alpha = 0.05)}$	0.4260*		< 0.0001**			
ρ_{CH} = Densidad normal; E_{vt} = Módulo dinámico; SE = Sesgo estandarizado; AE = Apuntamiento estandarizado; SE y AE al interior del intervalo (-2, +2): Distribución normal; * $P_{(\alpha = 0.05)} > 0.05$: No existe una diferencia estadísticamente significativa; ** $P_{(\alpha = 0.05)} > 0.05$: Existe una diferencia estadísticamente significativa.						

Las distribuciones de las muestras de la densidad normal y del módulo dinámico resultaron normales (SE y AE: -2, +2), tanto para la madera laminada compuesta como para las muestras de madera sólida de *A. religiosa*, *F. uhdei* y *A. acuminata*. Los valores $P_{(\alpha = 0.05)} > 0.05$ de la prueba de verificación de varianza indicaron que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre sus desviaciones estándar. Así mismo, el valor $P_{(\alpha = 0.05)} < 0.05$ resultante del análisis de varianza confirmó que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores de sus medias, esto para la madera laminada y las tres especies estudiadas de madera sólida (tabla 2). Para el módulo dinámico, esta misma prueba diferenció las medias de la madera laminada compuesta y la reportada por la madera de *A. acuminata*, no así para las de *A. religiosa* y *F. uhdei* (tabla 2). Estos resultados sugieren que el módulo dinámico de la madera laminada se diferencia respecto al valor del módulo dinámico generado por cada especie a nivel individual, figura 3.

5. Conclusiones

El módulo dinámico de la madera laminada compuesta con las tres maderas estudiadas es mayor que el generado individualmente por cada una de ellas. El

coeficiente de variación para la madera laminada fue menor que los correspondientes a las maderas sólidas respectivas.

Los resultados de esta investigación se limitan a pruebas realizadas con probetas de pequeñas dimensiones. Para utilizar el módulo dinámico en cálculo ingenieril, se recomienda determinar los valores característicos de la madera con procedimientos normalizados y en piezas con dimensiones reales de empleo; por ejemplo, vigas y columnas.

Agradecimientos

A los profesores Rene Navarrete Padilla de la Universidad de Guanajuato y Mario Fuentes Salinas de la Universidad Autónoma Chapingo, por mejorar el manuscrito original. Al profesor Juan Zárate Medina de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por facilitar el aparato para efectuar las pruebas dinámicas. La investigación estuvo patrocinada por la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] International Organization for Standardization. (2012). ISO 3129:2012. Wood. Sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens. Geneva: International Organization for Standardization. 9 p.
- [2] International Organization for Standardization. (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: International Organization for Standardization. 4 p.
- [3] International Organization for Standardization. (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: International Organization for Standardization. 5 p.
- [4] Kandler, G. & Füssl, J. (2017). A probabilistic approach for the linear behaviour of glued laminated timber. *Engineering Structures*, 148, 673-685.

- [5] Köhler, J. (2007). Reliability of timber structures. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology. 241 p.
- [6] López, F. N., Polanco, C., & Bermúdez, J. C. (2013). Caracterización mecánica estructural para veinte combinaciones de madera laminada encolada. *Colombia Forestal*, 16(2), 138-157.
- [7] Machek, L., Militz, H., & Sierra-Alvarez, R. (2001). The influence of wood moisture content on dynamic modulus of elasticity measurements in durability testing. *Forschung verwertung*, 53(5), 97-100.
- [8] Podesto, L., & Breneman, S. (2016). CLT research: available and accessible to north american designers. *Wood Design Focus*, 26(1), 1-5.
- [9] Segundinho, P. G., Zangiaco, A. L., Carreira, M. R., Dias A. A., & Lahr, F. A. R. (2013). Evaluation of glued laminated timber beams of cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm.). *Cerne*, 19(3), 441-449.
- [10] Ninin, P., Contreras-Miranda, W., & Valero, S. W. (2010). Influencia de las características y técnicas constructivas en las propiedades mecánicas de vigas laminadas encoladas de madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Madera y Bosques*, 16(3), 23-35.
- [11] Shirazinia, M., Moya, R., & Muñoz, F. (2011). Propiedades de curvas laminadas construidas con chapas vaporizadas con maderas de árboles de plantaciones de rápido crecimiento. *Madera y Bosques*, 17(2), 85-101.
- [12] Sotomayor, J. R., & Ruiz, F. (2017). Caracterización dinámica de madera laminada. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 13(3), 22-44.
- [13] Sotomayor, J. R., & Villaseñor, J. M. (2016). Retención de sales de boro en tres maderas mexicanas. Evaluación mecánica por vibraciones. *Revista de Ciencia y Tecnología. Suplemento No. 1. Ingeniería y Tecnología*, 40-46.
- [14] Sotomayor, J. R. (2015). Banco FITECMA de características físico-mecánicas de maderas mexicanas. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 65 p.
- [15] Tamarit, J. C., & López, L. J. (2007). Xilotecología de los principales árboles tropicales de México. San Martinito: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 264 p.

- [16]Teles, R. F., Del Menezzi, C. H. S., De Souza, M. R., & De Souza, F. (2010). Effect of nondestructive testing of laminations on the bending properties of glulam beams made from Louro-vermelho (*sextonia rubra*). *Cerne*, 16(1), 77-85.
- [17]Teles, R. F., Del Menezzi, C. H. S., De Souza, F., & De Souza, M. R. (2013). Theoretical and experimental deflections of glued laminated timber beams made from a tropical hardwood. *Wood. Material Science & Engineering*, 8(2), 89-94.
- [18]Tuisima-Coral, L. L., Odicio-Guevara, J. E., Weber, J. C., Lluncor-Mendoza, D., & Lojka, B. (2017). Variation in wood physical properties within stems of *Guazuma crinita*, a timber tree species in the Peruvian Amazon. *Madera y Bosques*, 23(1), 53-61.
- [19]Walker, J. C. F. (2006). *Primary Wood Processing*. Dordrecht: Springer. 603 p.