

Módulo de elasticidad dinámico, factor de calidad e índice material de 25 maderas. Determinación por vibraciones transversales

Dynamic module of elasticity, factor of quality and material index of 25 woods. Determination by transverse vibrations

Javier Ramón Sotomayor Castellanos^{1*}

Recibido 4 de mayo de 2018, aceptado 3 de julio de 2018

Received: may 4, 2018 Accepted: july 3, 2018

RESUMEN

La industria que emplea madera como insumo requiere, para fines de cálculo y diseño, parámetros de ingeniería derivados de pruebas experimentales. El objetivo de la investigación fue determinar el módulo de elasticidad dinámico, el factor de calidad y el índice material de 25 especies de madera. Se calcularon la densidad y el contenido de humedad de la madera y se realizaron pruebas de vibraciones transversales. El intervalo de valores en la densidad de la madera fue amplio. La especie *Spathodea campalunata* resultó tener menor densidad; al contrario, la madera de la especie *Dalbergia granadillo* reportó la densidad máxima. El valor mínimo del módulo de elasticidad dinámico correspondió a *S. campalunata*, y el máximo a *Tabebuia chrysantha*. Se verificó que la densidad de la madera es un buen predictor de su módulo de elasticidad dinámico. El factor de calidad correlaciona bien con la densidad. En cambio, el índice material no se correlaciona. El factor de calidad y el índice material normalizan el valor del módulo de elasticidad, en este caso el dinámico. De tal forma, estos parámetros encuentran aplicación para clasificar una especie de madera para un uso determinado, y emplearlos como criterio de selección.

Palabras clave: Densidad, edificación con madera, maderas mexicanas.

ABSTRACT

*The industry that uses wood as an input requires, for calculation and design purposes, engineering parameters derived from experimental tests. The objective of the research was to determine the dynamic modulus of elasticity, the quality factor and the material index of 25 wood species. The density and moisture content of the wood were calculated and transverse vibration tests were performed. The values range of wood density was broad. The species *Spathodea campalunata* resulted to have lower density; and the wood of *Dalbergia granadillo* was reported with the maximum density. The minimum value of the modulus of dynamic elasticity corresponded to *S. campalunata*, and the maximum to *Tabebuia chrysantha*. It was verified that the density of the wood is a good predictor of its dynamic modulus of elasticity. The quality factor correlates well with density. In contrast, the material index does not correlate. The quality factor and the material index normalize the value of the modulus of elasticity, in this case, the dynamic one. These parameters find application to classify a species of wood for a specific use, and to use them as a selection criterion.*

Keywords: Density, building with wood, mexican woods.

¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Morelia, Michoacán, México. E mail: madera999@yahoo.com

* Autor de correspondencia

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción diseña estructuras siguiendo criterios de servicio y de confiabilidad. Esto con el propósito de mejorar los métodos constructivos y de fabricación de sus productos, en donde la madera juega un papel substancial. Este procedimiento es sugerido por reglamentos propuestos por instituciones académicas y empresariales. Conjuntamente, esta reglamentación requiere de parámetros ingenieriles derivados de pruebas experimentales, realizadas con muestras representativas de la especie de madera que será utilizada en el proyecto constructivo [1].

En la literatura de referencia se reportan, por una parte, características mecánicas de la madera, las cuales son determinadas empleando probetas de pequeñas dimensiones y sin defectos [2-3]. Por otra parte, se reportan resultados de pruebas realizadas en piezas con dimensiones empleadas en la edificación [1-4]. Otro enfoque es la caracterización mecánica de la madera empleando métodos no destructivos, como son las vibraciones [5].

Para poder utilizar esta información en el cálculo y diseño estructural, es necesario realizar ajustes relacionados con la influencia de factores que pueden modificar los valores tabulados. Por ejemplo: el contenido de humedad, la presencia de nudos y la manifestación de biodeterioro en una pieza de madera [6]. Este procedimiento facilita proyectar las dimensiones correctas de la estructura, así como la selección conveniente de la especie y la calidad de la madera a utilizar, optimizando así el tiempo y costo del proceso constructivo.

El módulo de elasticidad es uno de los parámetros necesarios para el diagnóstico estructural empleando el método del elemento finito [7], en las técnicas basadas en el enfoque de los estados límite [8] y en la perspectiva del análisis probabilístico [9]. En el caso del diseño sísmico, es igualmente deseable contar con datos del módulo de elasticidad evaluado en condiciones dinámicas, por ejemplo, en vibraciones transversales [10].

El factor de calidad es el parámetro más significativo para determinar la calidad de la madera en aplicaciones acústicas de aislamiento o de resonancia. Un valor alto del factor de calidad de una madera indica una buena calidad acústica [11]. Por otra

parte, el índice material es un indicador sobre la calidad de la madera para usos constructivos. Un alto índice material de una madera sugiere una mejor resistencia en relación a su densidad, y una buena apreciación como material de ingeniería [12].

La madera es un componente que compite con otros materiales y tecnologías propias de la industria de la construcción. Con el objeto de mejorar la productividad industrial, es oportuno el conocimiento de las propiedades tecnológicas para construir con este material. El objetivo de la investigación fue determinar el módulo de elasticidad dinámico, el factor de calidad y el índice material de 25 especies de madera. Con potencial o con uso actual en la industria de la edificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material experimental consistió en madera de 25 especies, recolectada en terrenos forestales de México. Las especies fueron identificadas en el Laboratorio de Mecánica de la Madera, perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. La Tabla 1 presenta la lista de especies en estudio ordenadas por su densidad. Para cada especie, se prepararon 20 probetas con dimensiones de 0,05 m x 0,05 m en su sección transversal y con longitudes de 0,5 m. Las probetas estuvieron orientadas en las direcciones radial, tangencial y longitudinal del plano leñoso. La madera se estabilizó durante 24 meses en una cámara de acondicionamiento, con una temperatura de 20 °C (± 1 °C) y una humedad relativa de aire de 60% ($\pm 2\%$), hasta que alcanzó un peso constante. El peso y el volumen de las probetas se sitúan entre los de las probetas normalizadas de pequeñas dimensiones y sin defectos [3, 13-14]. Así como de las piezas aserradas con dimensiones de empleo y con presencia de defectos [4].

A diferencia de las probetas normalizadas de pequeñas dimensiones, algunas de las probetas estudiadas contenían pequeños nudos (máximo 0.003 m de diámetro), ligeras desviaciones de la fibra (máximo 1 en 20) y estaban un tanto desalineadas respecto a las direcciones radial, tangencial y longitudinal del plano leñoso. Estas características son propias de las especies en estudio. De tal forma, se considera que las probetas fueron representativas de la madera que se emplea en la industria de la edificación.

El contenido de humedad de la madera se determinó por el método de diferencia de pesos, con grupos complementarios de probetas con dimensiones de 0,02 m x 0,02 m x 0,06 m en las direcciones radial, tangencial y longitudinal respectivamente [13]. El promedio del contenido de humedad fue de 11,5%, con un coeficiente de variación de 1%. Se considera que este parámetro no intervino de manera significativa en los resultados. La densidad de la madera se calculó con el cociente peso/volumen de cada probeta al momento del ensayo [14].

El ensayo de vibraciones transversales consistió en aplicar un impacto elástico en la dirección tangencial de la probeta, en el centro geométrico de su portada. La probeta estuvo apoyada en soportes simples, situados en los puntos nodales correspondientes al primer modo de vibración (Figura 1). De esta forma, la probeta fue solicitada en flexión transversal. Para el registro de la vibración de la probeta, se utilizó un sensor de movimiento de tipo piezoeléctrico. El sensor fue colocado a la mitad de la altura de la probeta y sobre un punto nodal, conectado al aparato Grindosoniò MK5. Este sirvió para medir la frecuencia natural de la vibración.

El módulo de elasticidad dinámico se calculó con la ecuación (1) [15]:

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

Donde:

- E_{vt} = Módulo de elasticidad dinámico (N m⁻²).
- L_{vt} = Distancia de la portada entre apoyos (m).
- L = Largo de la probeta (m).
- f = Frecuencia natural de la probeta (Hz).

- ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad CH (kg m⁻³).
- m, K = Constantes (adimensionales).
- r = Radio de giro de la sección transversal de la probeta (m²).

El factor de calidad se calculó de acuerdo con la ecuación (2) [11]:

$$F_{vt} = \sqrt{\frac{E_{vt}}{\rho_{CH}^3}} \quad (2)$$

Donde:

- F_{vt} = Factor de calidad (m⁴ s⁻¹ kg).
- E_{vt} = Módulo de elasticidad dinámico (N m⁻²).
- ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad CH (kg m⁻³).

El índice material en vibraciones se calculó con la ecuación (3) [12]:

$$I_{vt} = \frac{E_{vt}}{\rho_{CH}} \quad (3)$$

Donde:

- I_{vt} = Índice material (m² s⁻²).
- E_{vt} = Módulo de elasticidad dinámico (N m⁻²).
- ρ_{CH} = Densidad de la madera a un contenido de humedad CH (kg m⁻³).

A partir de los resultados experimentales de esta investigación, se calcularon las regresiones lineales y su coeficiente de regresión (R²) del módulo de elasticidad dinámico, del factor de calidad y del índice material, como variables dependientes, en función de la densidad como variable independiente. Para ello se utilizó el paquete informático *Statgraphics*®.

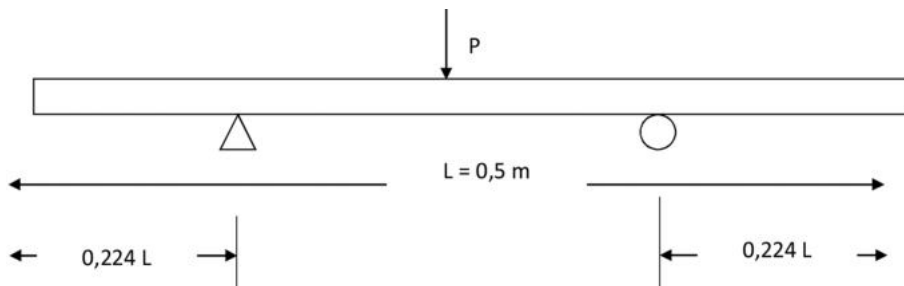


Figura 1. Ensayo de vibraciones transversales. P = Impacto; L = Longitud de la probeta.

RESULTADOS

La Tabla 1 presenta la densidad de la madera, su clasificación de acuerdo con [16] y el módulo de elasticidad dinámico. Los estadísticos que se presentan son la media y la desviación estándar.

El intervalo de valores de la densidad de la madera fue amplio. La especie *S. campalunata* resultó tener la menor densidad; por el contrario, la madera de la especie *D. granadillo* reporta la máxima densidad. De igual forma, los valores del módulo de elasticidad dinámico mínimo correspondió a *S. campalunata* y el máximo a *T. chrysantha*. El coeficiente de variación de la densidad se modificó en el intervalo de 2,23% a 12,54%. El intervalo correspondiente al módulo de elasticidad dinámico fue de 4,86% a 24,3%.

Estas magnitudes son similares a las reportadas por [17-18] para la variabilidad de estos parámetros en maderas mexicanas.

La Figura 2 indica la dispersión del módulo de elasticidad dinámico en función de la densidad. Igualmente, se presenta el posicionamiento de las especies en estudio con respecto a los datos bibliográficos presentados por [19] en la Tabla 3. Su contenido de humedad promedio es de 10,4%, similar al de esta investigación.

Los resultados experimentales del módulo de elasticidad dinámico y de la densidad se ubican alrededor de la línea de regresión, la cual exhibe un fuerte coeficiente de determinación (R^2). Igualmente, los datos bibliográficos detallados en la Figura 2 se sitúan en torno a la regresión $E_{vt} =$

Tabla 1. Densidad y módulo de elasticidad dinámico.

Especie	Clasificación densidad*	ρ_{CH} (kg m ⁻³)	E_{vt} (MN m ⁻²)
<i>Spathodea campalunata</i> P. Beauv	Muy baja	338 (17,90)	3934 (358)
<i>Gyrocarpus americana</i> Jacq.	Muy baja	391 (13,63)	6393 (539)
<i>Abies religiosa</i> Kunth Schtdl. et Cham.	Muy baja	399 (24,82)	10753 (1514)
<i>Tilia mexicana</i> Schtdl.	Baja	442 (55,48)	9674 (1246)
<i>Enterobolium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Baja	448 (35,29)	5728 (699)
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotzsch ex Endl.	Baja	486 (65,26)	8835 (214)
<i>Cedrela odorata</i> L.	Media	517 (81,07)	7481 (1235)
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Media	528 (20,64)	10624 (999)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Media	531 (34,68)	9136 (1762)
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Media	592 (17,11)	10451 (825)
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Media	598 (21,62)	9241 (674)
<i>Dalbergia paloescrito</i> Rzed. & Guridi-Gómez	Media	624 (47,92)	10939 (2619)
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	Media	635 (34,07)	11262 (1046)
<i>Fagus mexicana</i> Martínez	Alta	642 (47,94)	11180 (1621)
<i>Andira inermis</i> (W. Wright) DC.	Alta	716 (28,80)	9950 (1132)
<i>Psidium sartorianum</i> (O. Berg) Nied.	Muy alta	789 (28,27)	9770 (765)
<i>Juglans pyriformis</i> Liebm.	Muy alta	810 (26,80)	13494 (1956)
<i>Caesalpinia platyloba</i> S. Watson	Muy alta	825 (21,39)	15821 (2407)
<i>Albizia plurijuga</i> (Standl.) Britton & Rose	Muy alta	844 (56,76)	16706 (811)
<i>Quercus</i> spp.	Muy alta	847 (29,32)	17905 (2069)
<i>Lysiloma acapulcensis</i> (Kunth) Benth.	Muy alta	974 (36,22)	16687 (1804)
<i>Cordia elaeagnoides</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Muy alta	992 (81,49)	16761 (2860)
<i>Acosmium panamense</i> (Benth.) Yakovlev.	Muy alta	1005 (62,01)	17929 (2181)
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) Nicholson	Muy alta	1096 (24,42)	19442 (1814)
<i>Dalbergia granadillo</i> Pittier	Muy alta	1147 (58,97)	18754 (2707)

ρ_{CH} = Densidad; E_{vt} = Módulo de elasticidad dinámico; (desviación estándar).

* Clasificación de la densidad de acuerdo con [16].

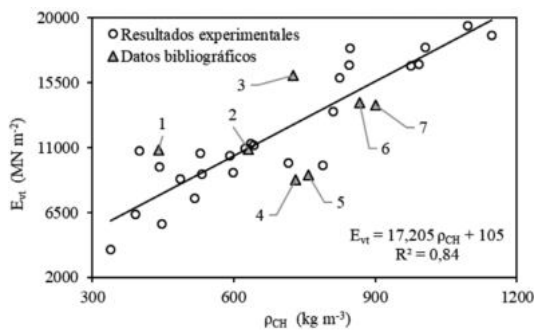


Figura 2. Dispersión del módulo de elasticidad dinámico (E_{vt}) en función de la densidad (ρ_{CH}). Resultados experimentales y datos bibliográficos de [19].

$f(\rho_{CH})$. Esta tendencia confirma las conclusiones de [2], y verifica que la densidad de la madera es un buen predictor de su módulo de elasticidad

dinámico. De manera prospectiva se puede postular que el módulo de elasticidad dinámico de la madera puede ser estimado, con cierta precisión, a partir de la densidad de la madera.

La Tabla 2 presenta la densidad, el factor de calidad y el índice material de las 25 especies de madera estudiadas. Asociada con estos resultados numéricos, la Figura 3 presenta la dispersión del factor de calidad en función de la densidad. En esta figura se contrastan los resultados experimentales con datos bibliográficos estimados a partir de los obtenidos por [19] (Tabla 3).

En la Figura 3, las magnitudes de los resultados experimentales se agrupan alrededor de la regresión lineal con un alto coeficiente de determinación. Así mismo, los datos de referencia siguen la tendencia a mayor densidad de la madera y su factor de calidad se incrementa. La numeración de las especies de

Tabla 2. Densidad, factor de calidad e índice material.

Especie	ρ_{CH} (kg m^{-3})	F_{vt} ($\text{m}^4 \text{s}^{-1} \text{kg}$)	I_{vt} ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$)
<i>Spathodea campalunata</i>	338	1153	11,63
<i>Gyrocarpus americana</i>	391	1581	16,34
<i>Abies religiosa</i>	399	2071	26,96
<i>Tilia mexicana</i>	442	2069	21,87
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	448	1601	12,79
<i>Cupressus lindleyi</i>	486	2073	18,17
<i>Cedrela odorata</i>	517	1967	14,47
<i>Alnus acuminata</i>	528	2369	20,12
<i>Swietenia macrophylla</i>	531	2203	17,20
<i>Fraxinus uhdei</i>	592	2488	17,65
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	598	2351	15,46
<i>Dalbergia paloescrito</i>	624	2612	17,54
<i>Tabebuia rosea</i>	635	2674	17,73
<i>Fagus mexicana</i>	642	2680	17,41
<i>Andira inermis</i>	716	2669	13,90
<i>Psidium sartorianum</i>	789	2776	12,39
<i>Juglans pyriformis</i>	810	3306	16,66
<i>Caesalpinia platyloba</i>	825	3612	19,19
<i>Albizia plurijuga</i>	844	3755	19,80
<i>Quercus spp.</i>	847	3894	21,14
<i>Lysiloma acapulcensis</i>	974	4032	17,12
<i>Cordia elaeagnoides</i>	992	4078	16,89
<i>Acosmium panamense</i>	1005	4246	17,83
<i>Tabebuia chrysantha</i>	1096	4615	17,75
<i>Dalbergia granadillo</i>	1147	4638	16,35

ρ_{CH} = Densidad; F_{vt} = Factor de calidad; I_{vt} = Índice material.

Tabla 3. Densidad, Módulo dinámico, factor de calidad e índice material. Datos bibliografía [19].

	Especie	ρ_{CH} (kg m^{-3})	E_{vt} (MN m^{-2})	F_{vt} ($\text{m}^4 \text{s}^{-1} \text{kg}$)	I_{vt} ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$)
1	<i>Cupressus lindleyi</i>	440	10815	2181	24,58
2	<i>Fraxinus americana</i>	631	10901	2623	17,28
3	<i>Juglans pyriformis</i>	725	15986	3404	22,05
4	<i>Guazuma ulmifolia</i>	730	8765	2530	12,01
5	<i>Swietenia humilis</i>	757	9098	2624	12,02
6	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	866	14077	3492	16,26
7	<i>Acacia farnesiana</i>	901	13965	3547	15,50

ρ_{CH} = Densidad; E_{vt} = Módulo de elasticidad dinámico; F_{vt} = Factor de calidad; I_{vt} = Índice material.

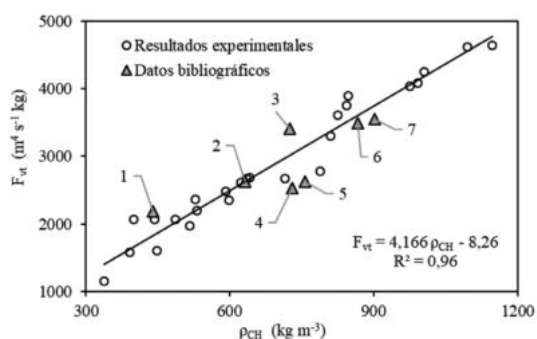


Figura 3. Dispersión del factor de calidad (F_{vt}) en función de la densidad (ρ_{CH}). Resultados experimentales y datos bibliográficos estimados a partir de los obtenidos por [19] (Tabla 3).

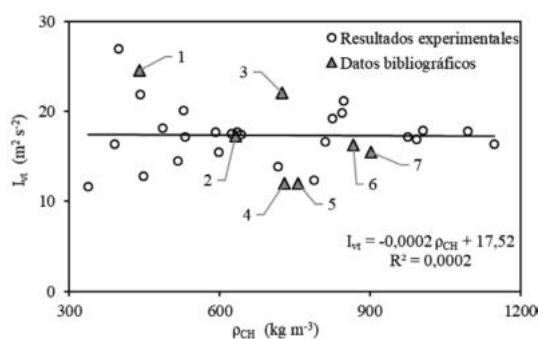


Figura 4. Dispersión del índice material (I_{vt}) en función de la densidad (ρ_{CH}). Resultados experimentales y datos bibliográficos estimados con resultados de [19] (Tabla 3).

referencia corresponde a la utilizada en la Tabla 3. Este resultado es similar a la tendencia que siguen los factores de calidad reportados por [19], los cuales presentan una correlación $F_{vt} = 2,945 \rho_{CH} + 789,7$ con un alto coeficiente de correlación $R^2 = 0,67$. Cuando aumenta la densidad se incrementa el factor de calidad (Tabla 2).

El posicionamiento de las especies de madera en el intervalo de valores para el factor de calidad, es similar al de la densidad (Tabla 1). La especie *S. campalunata* resultó tener un factor de calidad menor, la especie *D. granadillo* presentó el valor máximo. En el mismo contexto, para el índice de calidad la madera de *S. campalunata* presenta el valor mínimo, y el valor máximo corresponde a *Quercus* spp.

La Figura 4 detalla la dispersión del índice material (I_{vt}) en función de la densidad (ρ_{CH}) de los resultados

experimentales, y los datos bibliográficos reportados por [19] (Tabla 3). Los índices materiales no se correlacionan con la densidad. Así como los índices de la bibliografía que presentan una correlación débil, pero mayor a la de esta investigación ($I_{vt} = -0,0193 \rho_{CH} + 31,016$, $R^2 = 0,39$).

El factor de calidad y el índice material son variables derivadas de las ecuaciones (2) y (3), en cuyo cálculo está implícito el módulo de elasticidad dinámico. La determinación de este módulo depende, al mismo tiempo, de la densidad de la madera y de la frecuencia natural de la probeta. Esta última relacionada igualmente con las dimensiones de la probeta. Tomando en cuenta que tanto el factor de calidad como el índice material son descriptores de la calidad de la madera, estos eliminan las particularidades de la configuración del ensayo, en el cual se determina el módulo de elasticidad. Tales descriptores pueden introducir una diferencia

en los resultados. De esta manera, el factor de calidad y el índice material normalizan el valor del módulo de elasticidad, en este caso el dinámico. Por consiguiente, estos parámetros encuentran aplicación en la clasificación de una especie de madera para un uso determinado; y así poder emplearlos como criterio de selección al comparar varias especies de madera en proporción a su densidad [20].

CONCLUSIONES

Dentro de la presente investigación se determinaron experimentalmente la densidad de la madera y el módulo de elasticidad dinámico. Así mismo, se derivaron el factor de calidad y el índice material para 25 especies de madera, con potencial o con uso actual en la industria de la edificación.

La densidad de la madera y el módulo de elasticidad dinámico correlacionan bien. Por lo tanto, se puede utilizar la densidad de una especie para predecir su módulo de elasticidad dinámico.

El factor de calidad correlaciona bien con la densidad. En cambio, el índice material no correlaciona.

La determinación de índices de calidad de la madera puede identificar especies para un uso determinado, y emplearlos como criterio de selección en proyectos constructivos.

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

[1] D.E. Breyer, K.E. Cobeen, K.J. Fridley and D.G. Pollock. "Design of Wood Structures - ASD/LRFD". McGraw-Hill Education. New York, USA. pp. 1025. 2015.

[2] J.L. Bowyer, R. Shmulsky and J.G. Haygreen. "Forest Products and Wood Science". Wiley-Blackwell Oxford, England. pp. 496. 2011.

[3] American Society for Testing Materials. "ASTM D143-14. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber". American Society for Testing Materials.

West Conshohocken, USA. pp. 31. 2014. URL:<https://www.astm.org/Standards/D143.htm>

[4] American Society for Testing Materials. "ASTM D2915-10. Practice for Sampling and Data-Analysis for Structural Wood and Wood-Based Products". American Society for Testing Materials. West Conshohocken, USA. pp. 14. 2010. URL:<https://www.astm.org/Standards/D2915.htm>

[5] R.F. Pellerin and R.J. Ross. (Eds.). "Nondestructive Evaluation of Wood". Forest Products Society. Peachtree Corners, USA. pp. 176. 2002.

[6] J.R. Sotomayor Castellanos. "Características mecánicas de la madera y su aplicación en la industria de la construcción". Investigación e Ingeniería de la Madera. Vol. 4 N° 2, pp. 3-15. 2008. URL:https://www.academia.edu/6528849/Investigaci%C3%B3n_e_Ingenier%C3%ADa_de_la_Madera_2008_Vol._4_No._2

[7] A. Cointe, P. Castéra, P. Morlier and P. Galimard. "Diagnosis and monitoring of timber buildings of cultural heritage". Structural Safety. Vol. 29 N° 4, pp. 337-348. 2007. DOI: 10.1016/j.strusafe.2006.07.013

[8] P. Dietsch, J. Köhler, Brüninghoff and H. (Eds.). "Assessment of Timber Structures". European Science Foundation. Shaker Verlag, Maastricht, Germany. pp. 138. 2010. URL:http://www.cost.eu/COST_Actions/fps/E55

[9] J. Köhler, J.D. Sørensen and M.H. Faber. "Probabilistic modeling of timber structures". Structural Safety. Vol. 29 N° 4, pp. 255-267. 2007. DOI: 10.1016/j.strusafe.2006.07.007

[10] J. Saporiti-Machado and P. Palma. "Non-destructive evaluation of the bending behavior of in-service pine timber structural elements". Materials and Structures. Vol. 44 N° 5, pp. 901-910. 2011. DOI: 10.1617/s11527-010-9674-9

[11] M. Spycher, F.W.M.R. Schwarze and R. Steiger. "Assessment of resonance wood quality by comparing its physical and histological properties". Wood Science and Technology. Vol. 42 N° 4, pp. 325-342. 2008. DOI: 10.1007/s00226-007-0170-5

[12] M.F. Ashby. "Materials selection in mechanical design". Elsevier. Burlington, England. pp. 640. 2011.

- [13] International Organization for Standardization. "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". International Organization for Standardization. Brussels, Belgium. pp. 4. 2014.
- [14] International organization for standardization. "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". International Organization for Standardization. Brussels, Belgium. pp. 5. 2014.
- [15] L. Machek, H. Militz and R. Sierra-Alvarez. "The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests". *Wood Science and Technology*. Vol. 34 N° 6, pp. 467-472. 2001. DOI: 10.1007/s002260000070
- [16] J.R. Sotomayor Castellanos y M. Ramírez Pérez. "Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación". *Investigación e Ingeniería de la Madera*. Vol. 9 N° 3, pp. 3-29. 2013. URL :https://www.researchgate.net/publication/263346517_Densidad_y_caracterstias_higroscopicas_de_maderas_mexicanas_Base_de_datos_y_criterios_de_clasificacin
- [17] J.C. Tamarit Urias y J.L. López Torres. "Xilotecología de los principales árboles tropicales de México". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarías. San Martinito, México. pp. 264. 2007.
- [18] J.A. Silva Guzmán, F.J. Fuentes talavera, R. Rodríguez Anda, P.A., Torres Andrade, M.A. Lomelí Ramírez, J. Ramos Quirarte, C. Waitkus y H.G. Richter. "Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas". Universidad de Guadalajara y Comisión Nacional Forestal. México, México. pp. 207. 2010.
- [19] J.R. Sotomayor Castellanos. "Banco FITECMA de características físico-mecánicas de maderas mexicanas". Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. pp. 65. 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.3497.4884
- [20] S. Ferreira-Santos and M. Ferrante. "Selection Methodologies of Materials and Manufacturing Processes". *Material Research*. Vol. 6 N° 4, pp. 487-492. 2003. DOI: 10.1590/S151614392003000400010