



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Caracterización en flexión estática de madera plastificada de *Quercus scytophylla*.

Javier Ramón Sotomayor Castellanos
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
madera999@yahoo.com

Resumen

Se estudió el efecto de un tratamiento higr-térmico en madera de *Quercus scytophylla*. Se determinaron la densidad y el módulo de elasticidad. Se compararon los resultados entre 30 probetas sin tratamiento, 30 con tratamiento y 35 con tratamiento y curvadas. La densidad de la madera no varió significativamente debido al tratamiento. Sin embargo, el módulo de elasticidad disminuyó. Se observó igualmente que la configuración de las pruebas de flexión estática influyó de manera importante en los resultados.

Palabras clave: Módulo de elasticidad, Curvado de madera, Encino.

Abstract

The effect of a hygro-thermal treatment was studied, for *Quercus scytophylla* wood. The density and the moduli of elasticity were determined. The results from 30 specimens without treatment, 30 with treatment and 35 with treatment and curved, were compared. The wood density did not change significantly due to the treatment. However, the moduli of elasticity decreased. Likewise, it was observed that the configuration of static bending tests considerably influenced the results.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016” Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Key words: Modulus of elasticity, Wood bending, Oak.

I. Introducción

La madera sólida es un material natural con el cual se elaboran productos que tienen un empleo restringido como material de ingeniería. Algunas de sus limitantes son: su falta de uniformidad estructural, sus dimensiones establecidas por la morfología del árbol de donde la pieza de madera fue extraída, su variabilidad y heterogeneidad en sus características físicas, y finalmente, su carácter higroscópico (Sandberg y Parviz, 2007). Con el propósito de mejorar la resistencia al Intemperismo, la estabilidad dimensional y la resistencia mecánica en flexión, necesarias para el diseño y el cálculo de productos y estructuras de madera, existen tratamientos para la madera con temperaturas menores a los 190 °C, durante periodos variables de tiempo y en presencia de vapor o de agua líquida. Estas tecnologías son conocidas como tratamientos higro-térmicos (Boonstra, 2008).

La madera es un material termo-elástico: cuando la temperatura de la madera aumenta, su módulo de elasticidad disminuye. La madera es también un material higro-elástico: si el contenido de humedad de la madera se incrementa, el módulo de elasticidad disminuye. Por otra parte, la madera es un material con comportamiento plástico: si la madera es deformada más allá del límite elástico, la deformación geométrica es permanente. Estas tres propiedades de la madera pueden ser aprovechadas en un mismo procedimiento: el plastificado mecánico, aplicando un ingrediente hídrico combinado con uno térmico. A este proceso se le



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

denomina plastificado higro-térmico de la madera (Olguín-Cerón y Sotomayor-Castellanos, 2013).

Oltean *et al.* (2007), Estevez y Pereira (2009), Ansell (2012) y Sandberg *et al.* (2013) han demostrado la utilidad de los tratamientos higro-térmicos en la modificación de las características tecnológicas del material, como la disminución de la higrocontracción y de la higroexpansión, resultando en una mejora de la estabilidad dimensional de la madera.

La madera de *Quercus scytophylla*, presenta un potencial importante como material para la elaboración de productos de madera. Sus características anatómicas, físicas y mecánicas, fueron estudiadas por Pérez Olvera y Dávalos Sotelo (2008). Sin embargo, su empleo es limitado. Entre otros usos, este encino es aprovechado como astilla para la fabricación de tableros aglomerados y para la manufactura de cabos de herramientas.

En México, el tratamiento de higro-termo plastificado aplicado a la madera, ha sido ensayado anteriormente por Olguín-Cerón y Sotomayor-Castellanos (2013), y el estudio de su módulo de elasticidad por métodos no destructivos por Sotomayor-Castellanos y Olguín-Cerón (2014). La presente investigación es continuación de estos trabajos y se limita específicamente a ensayos de madera plastificada en flexión estática.

El objetivo de investigación fue determinar para probetas sin tratamiento higro-térmico, con tratamiento y curvas, la densidad y el módulo de elasticidad.

II. Metodología



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

El material experimental y el proceso de preparación de las probetas se realizaron de acuerdo con lo descrito por Olguín-Cerón y Sotomayor-Castellanos (2013) y Sotomayor-Castellanos y Olguín-Cerón (2014). El contenido de humedad de la madera y la densidad se calcularon con la metodología propuesta por Sotomayor-Castellanos y Olguín-Cerón (2014).

Las pruebas de flexión fueron en tres puntos (Figura 1). A partir del diagrama carga-deformación (Figura 2), se calculó el módulo de elasticidad con la fórmula:

$$MOE = \frac{P}{y} \frac{L_{flex}^3}{48 I} \tag{1}$$

Donde:

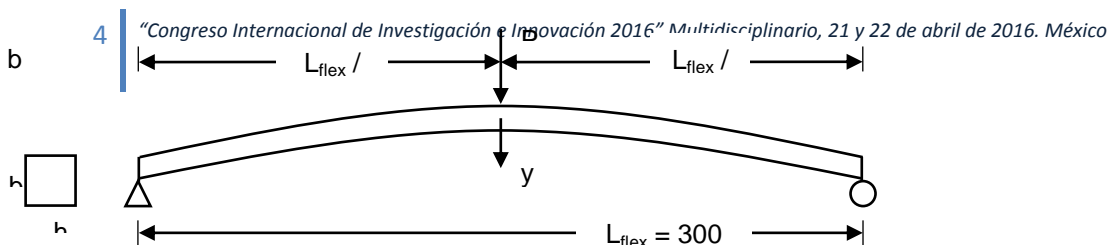
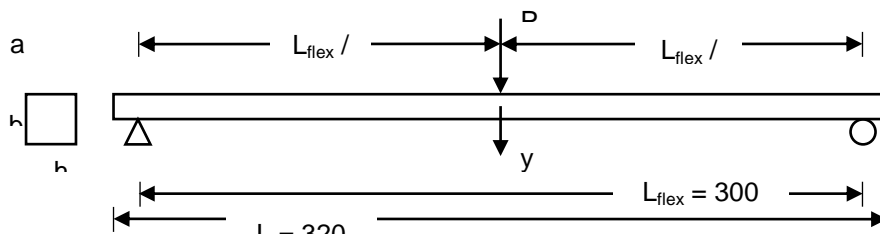
MOE = Módulo de elasticidad (Pa)

P = Carga (N)

L_{flex} = Claro de carga (m)

y = Deformación (m)

I = Momento de inercia de la sección transversal (m⁴)





“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Figura 1. Configuración de las pruebas de flexión estática. a) Probetas rectas; b) Probetas curvas.

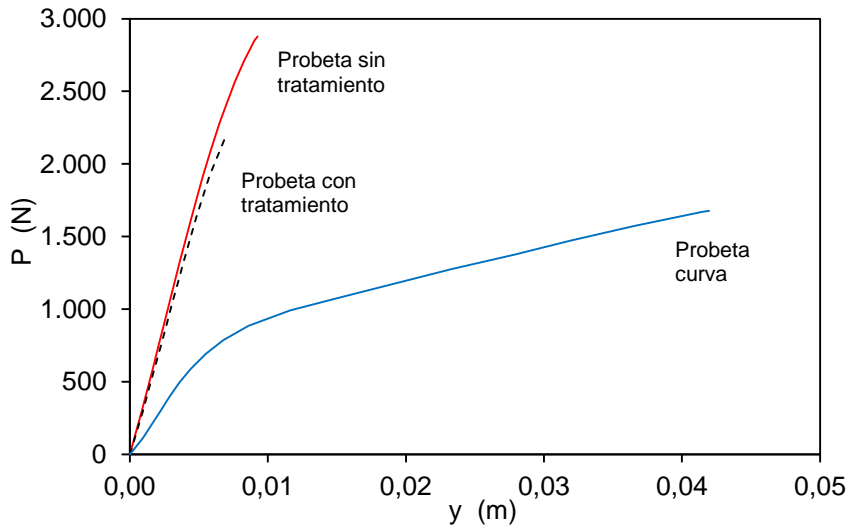


Figura 2. Diagramas carga (P)-deformación (y) de probetas sin tratamiento, con tratamiento y curvas.

III. Resultados

La Tabla 1 presenta los resultados de la densidad básica, del contenido de humedad y del módulo de elasticidad.

Tabla 1. Densidad básica, contenido de humedad y módulos de elasticidad.

	Probetas sin tratamiento (ST)	Probetas con tratamiento (CT)	Probetas curvas (CU)
--	-------------------------------	-------------------------------	----------------------



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Estadístico	ρ_0	CH	MOE	ρ_0	CH	MOE	ρ_0	CH	MOE
	(kg/m ³)	(%)	(MPa)	(kg/m ³)	(%)	(MPa)	(kg/m ³)	(%)	(MPa)
x	722	10.15	21,447	697	10.10	19,469	697	9.93	11,303
σ	25	0.46	2,353	35	0.54	2,733	27	0.74	1,141
CV	0.03	0.05	0.11	0.05	0.05	0.14	0.04	0.07	0.10

x = Media aritmética; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación; ρ_0 = Densidad básica; CH = Contenido de humedad; MOE = Módulo de elasticidad; MOR = Módulo de ruptura.

Los resultados de las pruebas de comparación de medias demostraron que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95 % de confianza entre el contenido de humedad de los tres grupos. De tal forma, que el contenido de humedad puede ser considerado uniforme y sin influencia en los resultados.

Las pruebas de diferencias de medias demostraron que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 3 grupos o variables con un nivel de confianza de 95 %. Los resultados de las pruebas de múltiples rangos, indicaron que los pares de las probetas con tratamiento y las curvas, presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto a las probetas sin tratamiento.

Las densidades para los tres grupos aquí examinados, son menores que las encontradas por Sotomayor-Castellanos y Olguín-Cerón (2014), en promedio 845 kg/m³, no obstante que se trata del mismo material experimental.

De los argumentos anteriores, se deduce que debido al tratamiento higo-térmico aplicado a la madera su densidad disminuyó en 3.5 %. Un resultado parecido ha sido encontrado anteriormente por Boonstra *et al.* (2007), quienes reportan una



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

disminución hasta de un 13 % en la densidad de *Pinus sylvestris* después de aplicar un tratamiento térmico de 165 °C, durante 30 minutos, condiciones similares a las del tratamiento aquí aplicado. De acuerdo con Boonstra (2008), las principales razones por las cuales la densidad disminuye después de un tratamiento térmico son, por una parte, la degradación de los componentes de la madera, principalmente las hemicelulosas, en productos volátiles, los cuales se evaporan durante el tratamiento, así como la evaporación de sustancias extraíbles. Por otra parte, también puede provocar la disminución en el contenido de humedad en equilibrio, dado que la madera tratada térmicamente es menos higroscópica.

El módulo de elasticidad obtenido con las probetas rectas, sin y con tratamiento, resultó en valores proporcionales a los presentados por Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo (2008): 12,718 MPa, para una densidad básica de 637 kg/m³, esto es 12 % menor a la determinada en esta investigación. En contraste, el módulo de elasticidad para las probetas curvas fue más bajo en 47 % y 42 % comparativamente con las probetas rectas, sin y con tratamiento, respectivamente. Una posible explicación a este resultado es el hecho de que, aunque las configuraciones de los ensayos fueron similares, las geometrías de las probetas no lo fueron. En el caso de las probetas curvas, el plastificado de la madera introdujo esfuerzos internos de flexión, compresión y cortantes que excedieron el límite de proporcionalidad, durante el proceso para curvar las probetas, que pudo debilitar su estructura interna y disminuir su capacidad elástica para soportar cargas en flexión estática.

La Figura 2 ilustra el comportamiento promedio de las probetas durante las pruebas de flexión, son los diagramas carga-deformación de tres probetas con



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

densidad y respuestas mecánicas semejantes, y para fines de análisis, se consideraron equivalentes. Los diagramas carga-deformación de las probetas rectas, sin y con tratamiento, son parecidos. Sin embargo, el diagrama correspondiente a las probetas curvas presenta un intervalo lineal menor del campo elástico con diferente pendiente y un dominio plástico que va mucho más allá del de las probetas rectas. En contraste, los resultados obtenidos por Sotomayor-Castellanos y Olgún-Cerón (2014) demostraron que para el fenómeno de transmisión de ondas de esfuerzo, el tratamiento higro-térmico y el curvado de las probetas no influyó en los valores del módulo de elasticidad en la dirección longitudinal, determinado por métodos no destructivos.

Las pruebas de múltiples rangos indicaron que los pares de las muestras también presentaron diferencias estadísticamente significativas para la densidad básica y el módulo de elasticidad, con excepción de la densidad básica de las probetas sin tratamiento.

IV. Conclusiones

El tratamiento higro-térmico con temperatura de 95 °C, aplicado durante 60 minutos, resultó en la disminución de la densidad de la madera de *Q. scytophylla* en un 3.5 %.

El tratamiento aplicado para plastificar la madera de *Q. scytophylla* disminuyó significativamente el módulo de elasticidad, en 47% y 42%, respectivamente para las probetas rectas sin tratamiento y con tratamiento.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Caso particular son las probetas curvas plastificadas, en las cuales el módulo de elasticidad calculado es un parámetro aparente. Pruebas adicionales son necesarias para esclarecer este comportamiento.

V. Bibliografía

Ansell, M. P. 2012. Wood: A 45th anniversary review of JMS papers. Part 2. Wood modification, fire resistance, carbonization, wood-cement and wood-polymer composites. *Journal of Materials Science*. 47:583-598.

Boonstra, M. J. 2008. A two-stage thermal modification of Wood. Ph.D. Dissertation in cosupervision. Ghent University and Université Henry Poincaré-Nancy 1. 297 p.

Boonstra, M. J., Van Acker, J., Tjeerdsma, B. F., Kegel, E. V. 2007. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science*. 64(7):679-690.

Estevez, B. M., Pereira, H. M. 2009. Wood Modification by Heat Treatment: A Review. *Bioresources*. 4(1): 370-404.

Olguín-Cerón, J. B., Sotomayor-Castellanos, J. R. 2013. Plastificado higro-térmico de madera de *Quercus scytophylla*. *Investigación y Ciencia*. 59:25-33.

Oltean, L., Teischinger, A., Hansmann, C. 2007. Influence of Temperature on Cracking and Mechanical Properties of Wood during Wood Drying – A Review. *BioResources*. 2(4):789-811.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Pérez Olvera, C. P., Dávalos Sotelo, R. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques*. 14(3):43-80.

Sandberg, D., Haller, P., Navi, P. 2013. Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science and Engineering*. 8(1):64-88.

Sandberg, D., Parviz, N. 2007. Introduction to Thermo-hydro-mechanical (THM) Wood Processing. Report No. 30. School of Technology and Design. Växjö University. Sweden. 167 p.

Sotomayor-Castellanos, J. R., Olguín-Cerón, J. B. 2014. Caracterización mecánica por ondas de esfuerzo de madera plastificada de *Quercus scytophylla*. *Investigación y Ciencia*. 61:34-42.