

Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera del Genero Heliocarpus para Aerogeneradores como Fuentes de Energía Alterna.

P. Quechulpa-Pérez^{1,*}, J. F. Pérez-Robles¹

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Querétaro, C.P. 76230, Libramiento Norponiente
No.2000. Frac. Real de Juriquilla Querétaro, Qro., México.

*Tel: +52 (442) 2 11 99 00, mail: martin.pompeyo@hotmail.com

ABSTRACT

Considerando la parte de energías alternas y medio ambiente se ha realizado poca investigación sobre materiales forestales para aerogeneradores, como lo es la madera de Jonote rojo de la especie *Heliocarpus appendiculatus* Turcz. En el medio rural es utilizada como leña o para herramientas agrícolas, la corteza contiene fibras largas y resistentes empleadas en la manufactura de artesanías y papel amate. Es abundante, de rápido crecimiento y producción. Siendo candidata a ser usada en la fabricación de alabes de aerogeneradores. En esta investigación se presentan los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la especie, cuyo problema es su susceptibilidad a los rayos ultravioleta, a la humedad y a la generación de hongos, afectando sus propiedades físicas y mecánicas y para solucionar dicho problema se tomaron muestras de madera y se recubrieron usando una mezcla de sílice y resina al 65% mediante el proceso sol-gel, posteriormente se colocaron en un dispositivo de envejecimiento y generación de hongo a una temperatura constante de 20 °C diseñado, simulando las condiciones medioambientales extremas a las que puedan estar sometidas las aspas del aerogenerador.

Los resultados obtenidos en las pruebas físicas y mecánicas muestran que la madera tiene baja densidad, baja contracción volumétrica, es resistente a las fuerzas de tensión, compresión y flexión estática siendo superiores a las fuerzas provocadas por las altas corrientes de aire. En las micrografías tomadas de las maderas sometidas a envejecimiento se demostró que la madera recubierta al 65% de resina es resistente a las condiciones medioambientales y de humedad ya que con el recubrimiento no se genera hongo en la madera. La madera puede ser usada no solo para aerogeneradores sino que dependiendo de las propiedades mecánicas y físicas requeridas puede ser usada en aplicaciones industriales, construcción de viviendas, baños ecológicos, etc.

Palabras Clave: *Heliocarpus*, Tensión, Compresión, Recubrimiento.



1. Introducción

El jote rojo, corcho, majagua o jolocín. Lleva el nombre científico de *Heliocarpus appendiculatus* Turcz. Su sinónimo botánico es *Helicarpus chontalensis* Sprague. Es originario de las regiones tropicales húmedas de América. Su distribución comprende desde México a través de Centroamérica hasta Perú [1]. En la república mexicana habita en los estados de Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz formando parte de la vegetación secundaria. Es un árbol común en corredores riparios y claros de bosques. Su distribución altitudinal comprende desde el nivel del mar hasta los 800 m de elevación. Florece durante los meses de enero a marzo y los frutos maduran entre febrero y mayo dependiendo de la localidad [2,3]. Alcanza hasta 25 m de altura, caducifolio, inerme, sin látex. Tronco derecho, hasta de 40 cm de diámetro, sin contrafuertes [1].

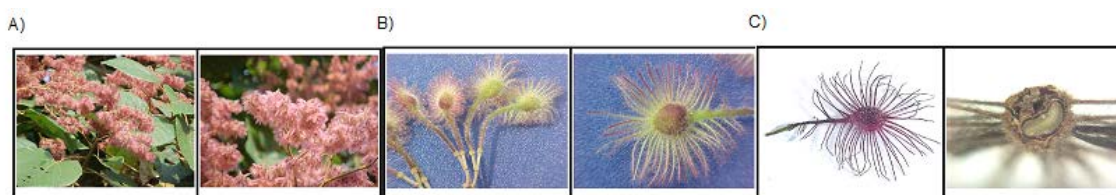


Figura 1. Características generales del *Heliocarpus appendiculatus* Turcz. A) inflorescencias. B) aspecto general del fruto. C) aspecto externo e interno del fruto

El conocimiento sobre la naturaleza de la madera, características y comportamiento, es necesario para establecer y efectuar un buen uso de este material. Independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico [4].

Es un material biológico, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas. Es un material anisotrópico debido a su particular estructura tubular y a su formación mediante sucesivas capas concéntricas, la madera es una material que no presenta las mismas propiedades físicas y mecánicas según todas las direcciones que pasan por un punto, es decir es un material anisótropo [5]. Debido a este comportamiento estructural tan desigual, se ha hecho necesario establecer: el eje axial: es paralelo a la dirección de las fibras y por ende, al eje longitudinal del tronco, forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial; eje radial: es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal; el eje Tangencial: es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza Figura 2.

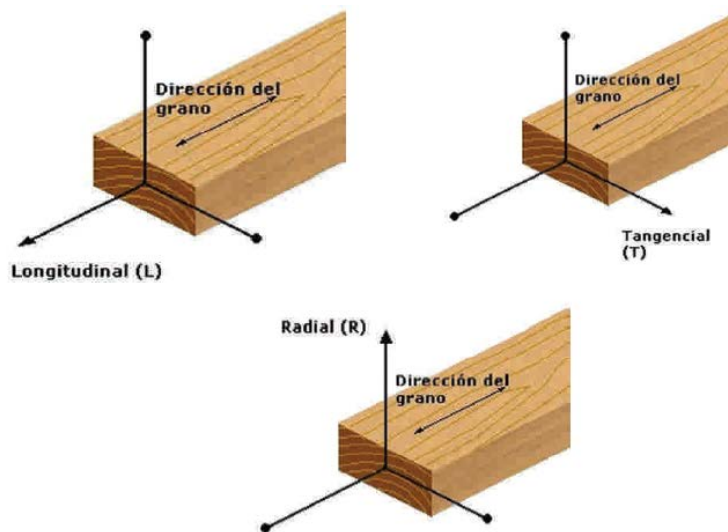


Figura 2. Diferentes ejes de la madera

Por último, higroscópico porque tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera [4]. Por tanto al citar una propiedad física o mecánica debe especificarse a que dirección se refiere.

En la Tabla 1 se presentan datos de las propiedades físicas de cuatro especies; en la Tabla 2 se presentan los datos de la especie *Grevillea* [6]; en la Tabla 3 se presentan los datos de la especie *Quercus Laeta* Liemb [7] y en la Tabla 4 se presentan los datos de Sirari y Tarara Colorada [8].

Tabla 1. Variables físicas de cuatro especies

Propiedad física	Dimensión	Zarate, et-al. (2001). <i>Grevillea robusta</i> A. Cunn [6]	Najera, et-al. (2005). <i>Quercus Laeta</i> Liemb [7]	Montecinos, et-al. (2008). [8]	
				<i>Copaifera chodatiana</i> (Sirari)	<i>Platymiscium ule</i> (Tarara Colorada)
Densidad	g/cm ³	0.487	0.86	0.82	0.73
Contracción volumétrica	%		18.1	14.03	10.67

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013

Tabla 2. Datos obtenidos en la especie *Grevillea robusta* A. Cunn

Variable		Datos en estado verde y seco	
Especificación	Dimensión	Paralela	Perpendicular
Compresión en el límite de proporcionalidad	$f_{c,lp}$ (Kg/cm ²)	118	40
Modulo de ruptura para la flexión estática	R_f (Kg/cm ²)		433

Tabla 3. Datos obtenidos en la especie *Quercus Laeta* Liemb

Variable		Sección paralela		Sección perpendicular	
Especificación	Dimensión	Estado verde	Estado seco	Estado verde	Estado seco
Compresión máxima al límite de ruptura	R_c (Kg/cm ²)	264.277	455.651	201.53	238.30
Tensión máxima al límite de ruptura	R_{TN} (Kg/cm ²)		1214		65.55
Modulo de ruptura para la flexión estática	R_f (Kg/cm ²)	Estado verde 634.173		Estado seco 818.71	

Tabla 4. Datos obtenidos en la especie *Sirari* y *Tarara Colorada*

Variable		Sección análisis	
Especificación	Dimensión	Paralela	Perpendicular
Copaifera chodatiana (Sirari)			
Compresión máxima al límite de ruptura	R_c (Kg/cm ²)	169.4	201.85
Módulo de elasticidad en la tensión	E_{TN} (Kg/cm ²)		113.38
Modulo de ruptura para la flexión estática	R_f (Kg/cm ²)		1343.87
Platymiscium ule (Tarara Colorada)			
Módulo de elasticidad en la compresión	E_C (Kg/cm ²)	128.29	166.43
Modulo de ruptura para la flexión estática	R_f (Kg/cm ²)		1176.71

2. Sección Experimental

El conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de la madera es de vital importancia ya que con ello se puede determinar el uso adecuado de este material anisotrópico ya sea en estructuras, muebles, vehículos, embalajes, artículos deportivos, etc. [9].

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Jonote se selecciona el área de estudio ubicada en la comunidad de Yoloxochitla Municipio de Zongolica, Veracruz, México, la cual se encuentra en las

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013

coordenadas geográficas 18°42'52.04" latitud Norte y 96°59'53.37" longitud oeste a una altura de 1119 msnm. Se eligió esta zona por la gran distribución y abundancia de las especies del género *Heliocarpus*.

Se seleccionaron 5 árboles al azar con tres características principales: diámetro normal superior a 20 cm, fuste recto, buen estado fitosanitario 0% presencia plagas y enfermedades. Del árbol se obtuvieron cuatro viguetas por cada árbol con dimensiones de 8 x 8 cm de sección transversal y 120 cm de largo. La mitad del total de las viguetas se destinaron a la elaboración de las probetas para los ensayos físicos y mecánicos en estado verde y la otra mitad para ensayos mecánicos en estado seco. Al obtener las probetas en estado verde, se depositaron en una bandeja con agua, con el objeto de evitar la pérdida del contenido de humedad de las probetas, ya que este afecta los resultados de los ensayos. Para las probetas destinadas a los ensayos mecánicos en estado seco, las viguetas se mantuvieron bajo sombra por dos meses aproximadamente para generar un contenido de humedad promedio del 12%. La forma y las dimensiones de cada probeta fueron tal y como lo marcan las normas indicadas en la Tabla 5. El número total de probetas por ensayo fue de 20 para pruebas físicas y 20 para las pruebas mecánicas. Usando el procedimiento descrito en las normas citadas. Las propiedades físicas evaluadas incluyen la densidad, el peso específico, el contenido de humedad y la contracción volumétrica. Las propiedades mecánicas comprenden la compresión, tensión paralela y perpendicular a la fibra, y flexión estática, todas en estado verde y estado seco respectivamente; y para cada una se determinó la densidad y contenido de humedad, según las normas citadas en la Tabla 5 y a la Tabla 6 en la que se indica la clasificación de la madera de acuerdo a su densidad [19]. Las pruebas para determinar las propiedades mecánicas de la madera, se realizaron en base a las normas elaboradas por la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) con sede en Buenos Aires Argentina, las cuales son una adaptación de las normas British Standard y ASTM (American Society for Testing and Materials). En dicha norma se describe las condiciones estándar de temperatura a las que se deben realizar las pruebas [10].

Tabla 5. Normas que indican el procedimiento de cada propiedad física y mecánica a determinar

Propiedad física/mecánica	Norma
Densidad	Norma Nch176/2 of 86. (1988). [11]
Contenido de humedad	Norma Nch176/1 of 86. [12]
Peso específico	Norma COPANT. (1972). [13]
Contracción volumétrica	NMX-EE-167-1983. [14]
Compresión	Norma Nch973 of 86. [15] Norma Nch974 of 86. [16]
Tensión, Dureza, Cizalle, Clivaje	D 143-94. ASTM. (2000). [17]
Flexión estática	British Standards Institution. (1957). [18]

Los ensayos se deben de realizar en dos estados de contenido de humedad, uno con probetas de humedad superior al 30% en estado verde, y el segundo con probetas de humedad 12% en estado seco al aire [4].

Para cada prueba mecánica se generaron gráficas de carga contra deformación, para determinar la deformación en el límite de proporcionalidad, la carga en el límite de proporcionalidad y la deformación máxima.

Tabla 6. Clasificación de la madera según Sallenave con respecto a su densidad normal.

Clase	Densidad Normal (g/cm ³)	
	Coníferas	Latifoliadas
Muy livianas	< 0.400	< 0.500
Livianas	0.400 – 0.499	0.500 – 0.649
Semi-pesadas	0.500 – 0.599	0.650 – 0.799
Pesadas	0.600 – 0.700	0.800 – 0.950
Muy pesadas	> 0.700	> 0.950

Además mediante el proceso sol-gel [20], se prepararon soluciones híbridas de Resina (PVAc B18) - Sílice (SiO₂), en concentraciones del 75, 65 y 50% en peso de resina, como solvente se uso el metanol, y un aditivo de Silquest que sirve para cerrar el poro del recubrimiento. La solución se uso como recubrimiento para las maderas de jonote (dimensiones 5mm x 20mm x40mm), mediante la técnica de inmersión-remoción (Dip-Coating) a velocidad constante, con la finalidad de aumentar la vida efectiva de la madera, que será empleada en la fabricación de las aspas de aerogeneradores para fuentes alternas de energía. Para estudiar el comportamiento del recubrimiento y la madera, se construyo un equipo de envejecimiento, para manipular las condiciones medioambientales a las que están sometidas las aspas. En el equipo se instalo un motor con control de velocidad a la salida del motor se coloco un soporte para colocar las muestras de madera recubiertas para hacer la función del movimiento radial del aerogenerador, se coloco un ventilador para generar la corriente de aire a una velocidad de 60 km/h, para simular el efecto de la lluvia se coloco una bomba para recircular al agua a la parte superior, en el interior del equipo se tiene una humedad del 100%, y una temperatura constante de 19°C, se coloco un deflector para generar calor, y los rayos ultravioleta. El análisis de envejecimiento se realizo durante un periodo de 2 meses, manteniendo una temperatura constante. Se colocaron las 5 muestras de cada composición y 5 muestras testigo, además se dejaron 10 muestras al ambiente para relacionar las condiciones de análisis.

3. Resultados y discusión

Propiedades físicas

En la Figura 3 se observan los cortes y muestras para las pruebas físicas en la madera y en la Tabla 7, se presentan los resultados obtenidos.



Figura 3. Muestras del *Heliocarpus appendiculatus* Turcz.

Tabla 7. Variables físicas de la especie *Heliocarpus Appendiculatus* Turcz

Propiedad física		Dimensión	Cantidad
Densidad	Básica	g/cm ³	0.2517
	Normal	g/cm ³	0.2929
	Anhidra	g/cm ³	0.2663
	Nominal	g/cm ³	0.2627
Peso específico	Anhidro	g/cm ³	0.2664
	Normal	g/cm ³	0.2627
Contracción volumétrica		%	6.9932
Coefficiente de contracción volumétrica			0.1882
Contenido de humedad		%	226.3322

La densidad que tiene el *Heliocarpus appendiculatus* Turcz corresponde a la categoría de densidad muy liviana, ya que el valor obtenido en la densidad normal es inferior a 0.500 gr/cm³ [19]. De acuerdo a la contracción volumétrica, esta se clasifica en pequeña contracción por presentar valor entre 10 a 5 % Pérez (1983) En lo que respecta al

contendió de humedad se obtuvo un valor de 226.3322 %, valor superior a la especie *Tecnona grandis* cuyo contenido de humedad es de 95 % [22] y también superior a la especie de *Gmelina arborea*, cuyo contenido de humedad es de 183% [23]. El valor de la humedad obtenido es aceptable ya que la madera de los árboles vivos presentan un contenido de humedad que varía entre los 30 a 300% [24]. Con respecto al peso específico se obtuvo un valor de 0.26 g/cm^3 , valor menor respecto a la especie de *Tectona grandis* que es de 0.58 g/cm^3 [22], y a la especie *Podocarpus Rospigliosi* que es de 0.45 g/cm^3 [25]. Por lo tanto el Jonote tiene las propiedades óptimas para ser usado en aerogeneradores por su peso ligero.

Propiedades mecánicas

Se determinaron tres propiedades mecánicas; compresión y tensión, paralela y perpendicular a la fibra en estado verde y seco; y flexión estática en estado verde y seco como se indica en la Figura 4.



Figura 4. Imágenes de las probetas para los ensayos

a). Compresión paralela y perpendicular a la fibra en estado verde y seco

La compresión paralela y perpendicular promedio en estado verde y seco se muestra en la Figura 5 y en la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos, en los cuales la compresión paralela a la fibra es superior a la perpendicular.



Figura 5. Imágenes de las probetas para compresión paralela y perpendicular a la fibra.

Tabla 8. Compresión paralela y perpendicular a la fibra en estado verde y seco

Variable		Compresión paralela		Compresión perpendicular	
Especificación	Dimensión	Estado verde	Estado seco	Estado verde	Estado seco
Compresión máxima al límite de ruptura	R_c (Kg/cm ²)	123.398	134.515	23.285	32.089
Compresión en el límite de proporcionalidad	$f_{c,lp}$ (Kg/cm ²)	80.340	66.667	8.910	12.188
Módulo de elasticidad en la compresión	E_C (Kg/cm ²)	3044.611	2527.52	47.386	64.662

La madera usada para la compresión paralela presenta un contenido de humedad promedio de 102 % para el estado verde y 17% para el estado seco, con una densidad de 0.34 y 0.26 g/cm³ respectivamente. La madera usada para la compresión perpendicular presenta un contenido de humedad promedio del 92% para el estado verde y 12% para el estado seco, con una densidad de 0.32 y 0.22g/cm³ respectivamente.

El jonote soporta una carga máxima de compresión paralela al límite de fractura en estado verde de 400 kg, generando una deformación de 2.6 mm, mientras que en estado seco soporta una carga de 550 kg, con la que se genera una deformación de 2.14 mm. En estado verde el material soporta una menor carga pero su elasticidad es mayor. En estado seco la madera es más resistente tal y como se muestra en la Figura 6.

Para el caso de la compresión perpendicular, la madera soporta una carga máxima de compresión al límite de fractura en estado verde de 900 kg, generando una deformación de 22.846 mm, mientras que en estado seco soporta una carga de 850 kg, generando una deformación de 25.676 mm. En estado verde el material soporta una mayor carga pero su elasticidad es menor. En estado seco la madera es más elástica tal y como se muestra en la Figura 7.

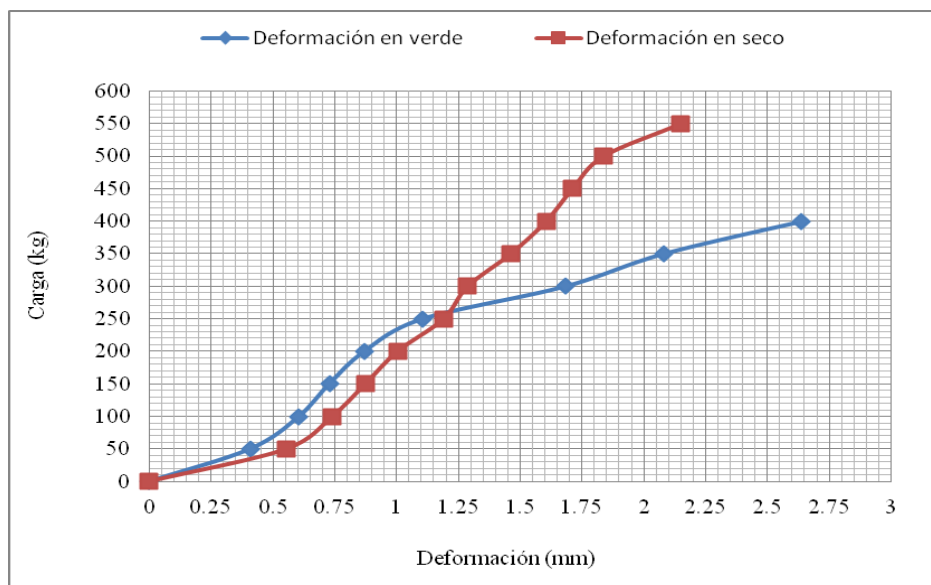


Figura 6. Grafica de carga – deformación en la compresión paralela, en estado verde y seco.

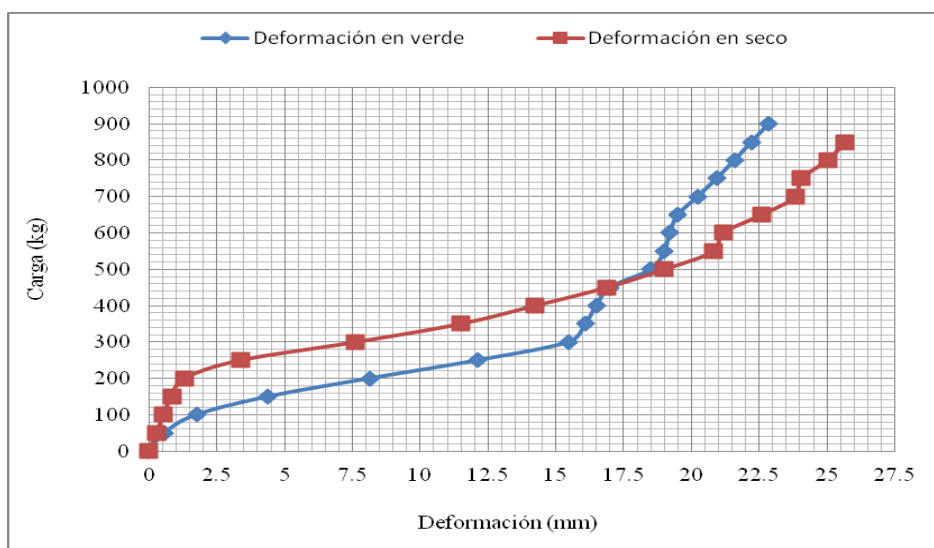


Figura 7. Grafica de carga–deformación en la compresión perpendicular, en estado seco y verde.

b). Tensión paralela y perpendicular a la fibra en estado verde y seco

La tensión paralela y perpendicular promedio en estado verde y seco se muestra en las imágenes de la Figura 8 y los resultados se presentan en la Tabla 9. Podemos observar que la tensión paralela es superior a la perpendicular.



Figura 8. Imágenes de las probetas para tensión paralela y perpendicular a la fibra.

Tabla 9. Tensión paralela y perpendicular a la fibra en estado verde y seco

Variable		Tensión paralela		Tensión perpendicular	
Especificación	Dimensión	Estado verde	Estado seco	Estado verde	Estado seco
Tensión máxima al límite de ruptura	R_{TN} (Kg/cm ²)	121.541	214.192	9.974	8.508
Tensión de tracción en el límite de proporcionalidad	f_{TN} (Kg/cm ²)	47.811	95.133	5.604	9.082
Módulo de elasticidad en la tensión	E_{TN} (Kg/cm ²)	177.064	601.145	15.144	49.036

La madera usada para la compresión paralela presenta un contenido de humedad promedio 90% para el estado verde y 11 % para el estado seco, con una densidad de 0.27 y 0.24 g/cm³ respectivamente. La madera usada para la tensión perpendicular presenta un contenido de humedad promedio del 67% para el estado en verde y 12% para el estado seco, con una densidad de 0.44 y 0.23 g/cm³ respectivamente.

El jonote soporta una carga máxima de tensión paralela al límite de fractura en estado verde equivalente a 45 kg, generando una deformación de 18.54 mm, mientras que en estado seco soporta una carga de 110 kg, con la que se genera una deformación de 4.463 mm. En estado verde el material soporta una menor carga pero su elasticidad es mayor. En estado seco la madera es más resistente tal y como se muestra en la Figura 9.

Para el caso de la tensión perpendicular, la madera soporta una carga máxima de compresión al límite de fractura en estado verde de 60 kg, generando una deformación de 5.889 mm, mientras que en estado seco soporta una carga de

90 kg, con la que se genera una deformación de 2.878 mm. En estado verde el material soporta una mayor carga pero su elasticidad es menor. En estado seco la madera es más elástica tal y como se muestra en la Figura 10.

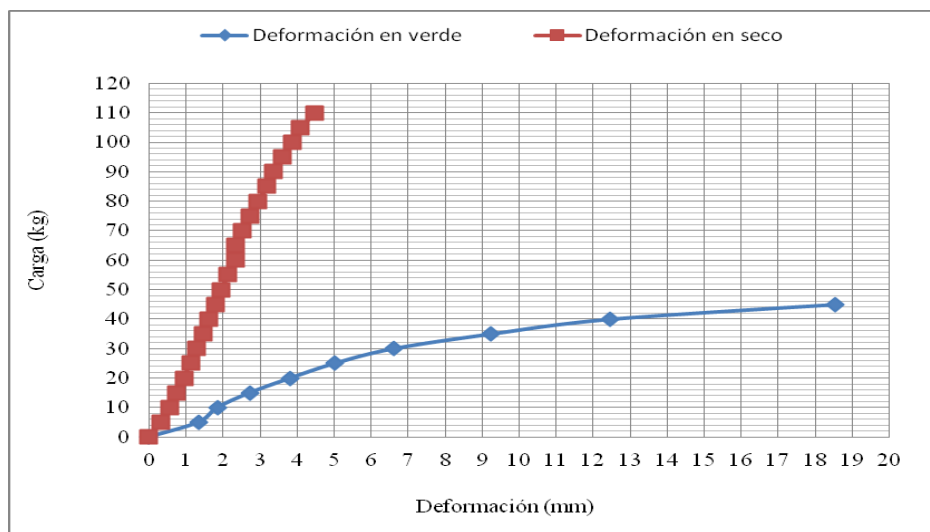


Figura 9. Grafica de carga – deformación en la tensión paralela, en estado verde y seco.

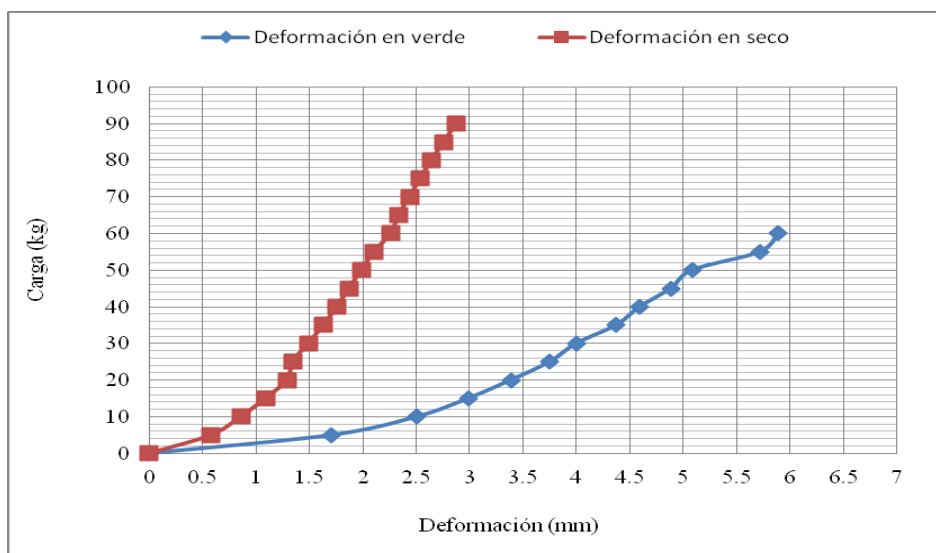


Figura 10. Grafica de carga–deformación en la tensión perpendicular, en estado seco y verde.

c). Flexión estática en estado verde y seco

La flexión estática en estado verde y seco se muestra en la Figura 11 y los resultados se muestran en la Tabla 8. Podemos observar que en estado seco se obtienen resistencias mayores. Los contenidos de humedad promedio que presentaron fueron 56% para el estado verde y 13% para el estado seco, con una densidad de 0.56 y 0.25 g/cm³ respectivamente.



Figura 11. Imágenes de las probetas para tensión paralela y perpendicular a la fibra.

Tabla 10. Tensión paralela y perpendicular en estado verde y seco

Variable Especificación	Dimensión	Flexión estática	
		Estado verde	Estado seco
Modulo de flexión para la ruptura	R_f (Kg/cm ²)	157.241	235.056
Tensión unitaria de flexión en el límite de proporcionalidad	f_{lp} (Kg/cm ²)	87.000	92.538
Módulo de elasticidad en la flexión	E_f (Kg/cm ²)	9575.484	38839.882

La madera soporta una flexión máxima al límite de fractura en estado verde es de 60 kg, generando una deformación de 11.338 mm, mientras que en estado seco soporta una carga de 95 kg, con la que se genera una deformación de

5.556 mm. Para esta prueba en estado verde el material soporta una menor carga pero su elasticidad es mayor. En estado seco la madera es menos elástica pero más resistente tal y como se muestra en la Figura 12.

Las cargas máxima que se obtuvieron en las pruebas en estado seco fueron de 90 a 140 kg con deformaciones máximas que rebasaron los 6 mm. Para el caso de los ensayos en estado verde presentaron menos carga máxima pero mayor deformación ya que estas rebasaron los 6 mm incluso algunos alcanzaron los 9.5 mm.

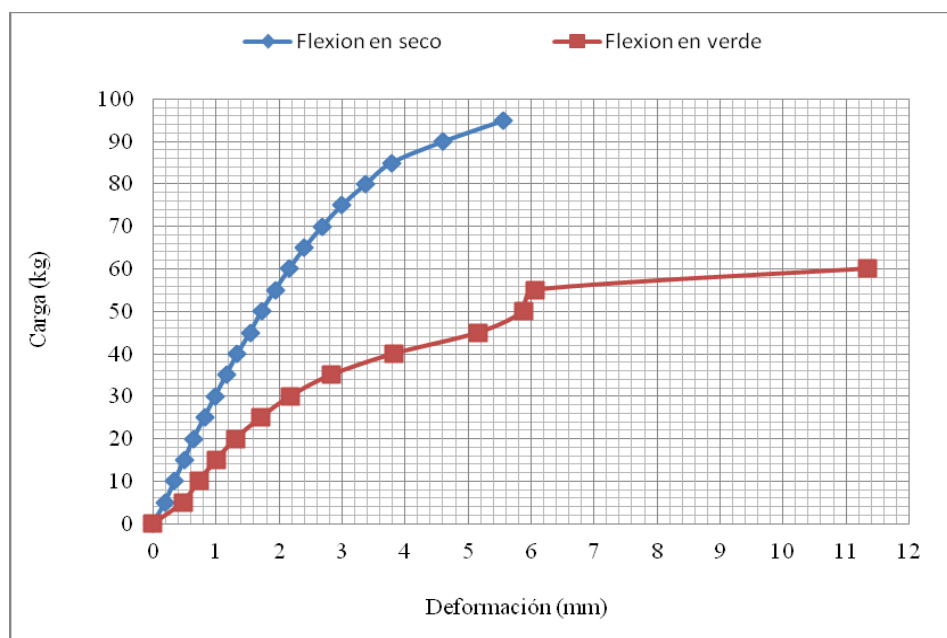


Figura 12. Grafica de carga – deformación para la flexión en estado seco y verde.

El *Heliocarpus appendiculatus* Turcz es clasificado como una madera que pertenece entre el grupo III y IV de las latifolidades de acuerdo a la Norma Técnica Complementaria del Reglamento de Construcciones para el Distrito [21]. Al grupo IV por que presenta valores en $f_{c,lp}$ y f_{lp} menores a los citados en la norma, y al grupo III por presentar valores de tensión f_{TN} mayores al grupo IV. En la compresión paralela a la fibra se obtuvo un valor de 66.67 kg/cm^2 valor menor al reportado en la norma donde el $f_{c,lp}$ es de 80 kg/cm^2 . En la compresión perpendicular se obtuvo un valor de 12.19 kg/cm^2 menor a 20 kg/cm^2 según la norma. En la tensión paralela se obtuvo un f_{TN} de 95.13 kg/cm^2 valor que es superior a 55 kg/cm^2 de acuerdo a la norma este valor lo sitúa en el grupo III. Para la flexión estática se obtuvo un f_{lp} de 92.54 kg/cm^2 superior al registrado por la norma de 80 kg/cm^2 ligeramente superior al grupo IV pero tampoco alcanza el valor de 160 kg/cm^2 correspondiente al Grupo III.

Además del estudio físico y mecánico de la madera. Se realizó el estudio de un recubrimiento al 65% de PVAc- 35% de Metanol con Silquest. A dicho recubrimiento en película se le determino el esfuerzo de tensión en el primer día y al mes, en el que se determino que el tiempo hace que la película se vuelve más resistente y elástica debido a que el material se polimeriza Figura 13.

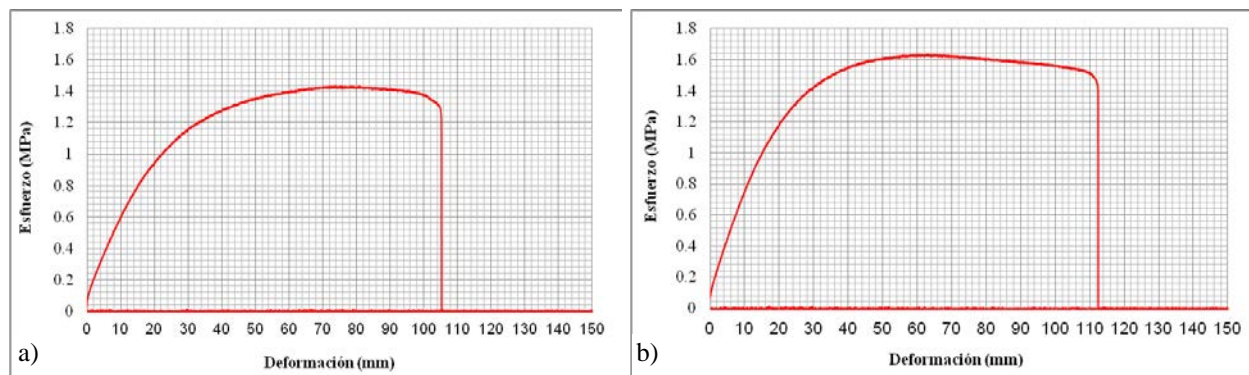


Figura 13. Grafica de esfuerzo de tensión – deformación para la película al 65% PVAc-Metanol-Silquest. A) Muestra al día 1, b) Muestra a 1 mes.

Las muestras de madera se recubrieron y se dejaron reposar por un periodo de 2 días y la presencia del aire del ambiente reacciona con la solución polimerizando el recubrimiento, serrando los micro poros, con lo que se logra un material hermético según análisis por SEM, Figura 14. Posteriormente cada madera se sometió a las pruebas de envejecimiento y al realizar los análisis por SEM no se observan fracturas en el recubrimiento, ni la presencia de hongos tal y como se observa en la micrografías de la Figura 15.

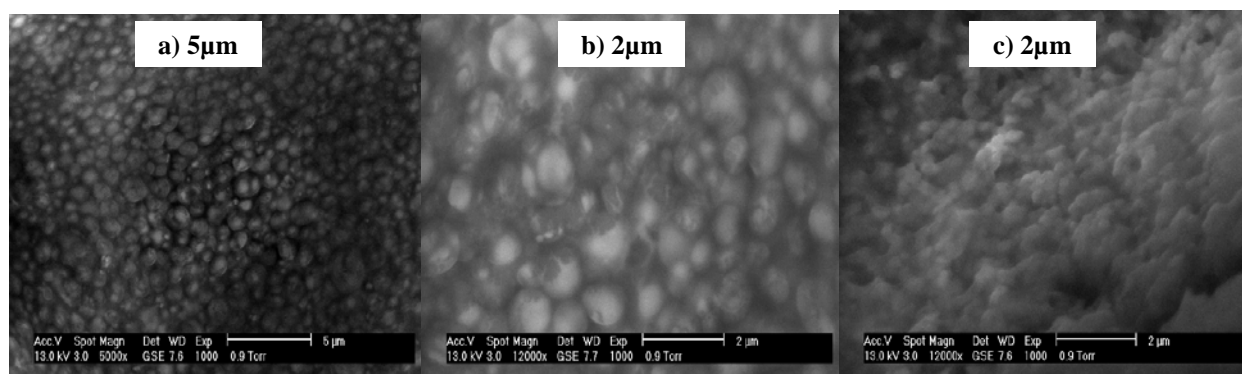


Figura 14. Micrografías por SEM del recubrimiento sobre madera al 65% PVAc expuesta al ambiente a). Día 1. b) Día 2. c) 1 mes. d) 2 meses

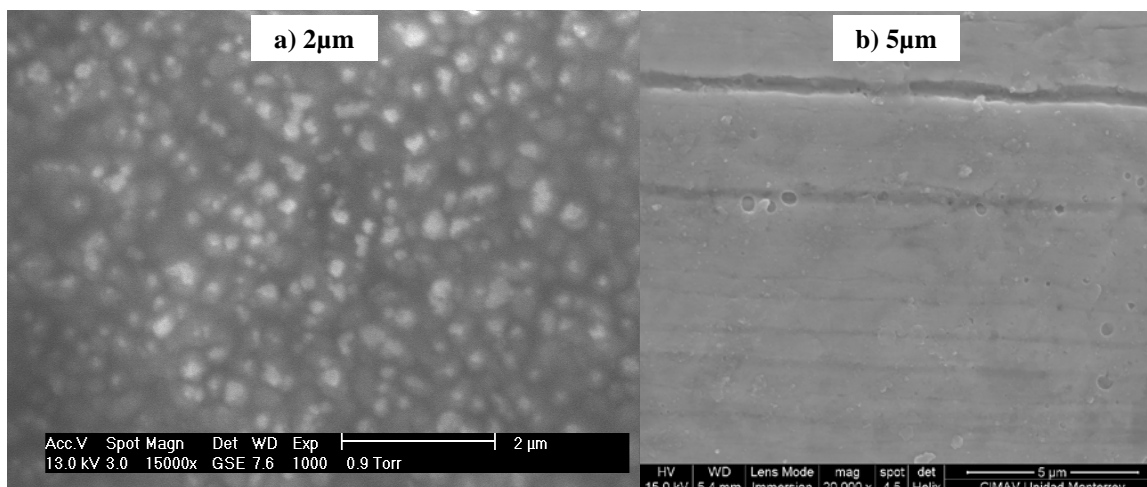


Figura 15. Micrografías por SEM del recubrimiento sobre madera al 65% PVAc expuesta a pruebas de envejecimiento. a) 1 mes de exposición. b) 2 meses de exposición.

Uno de los principales gases del ambiente que daña la madera es el CO_2 , motivo por el cual es necesario que dicho gas no se difunda en el recubrimiento y llegue a las paredes de la madera. Para analizar la penetración de dicho gas sobre la película, se le difundieron los gases puros CO_2 , N_2 , CH_4 e H_2 y mediante el análisis del flujo, Figura 16, se determinó que después de los 2 minutos de difusión el CO_2 ya no se difunde y el flujo de los siguientes gases decae,

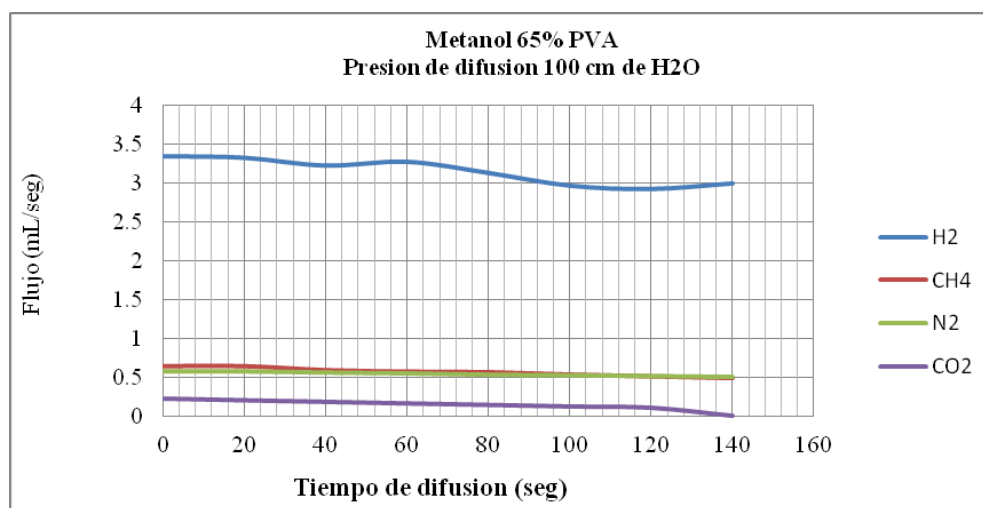


Figura 15. Grafica de difusión de gases puros sobre la película del recubrimiento al 65% PVAc

en virtud de que el gas CO₂ satura los micro poros de la película. Por lo tanto el recubrimiento se vuelve hermético con en la presencia del CO₂.

4. Conclusiones

En el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del genero *Heliocarpus* de la especie *Heliocarpus appendiculatus* Turcz, posee propiedades optimas, para ser usada en paletas de aerogeneradores, cercos, construcción de casas y demás, por su baja densidad y peso especifico, el problema que presenta su humedad, esto significa que en los poros de la madera, se atrapa agua y aire del ambiente la cual provoca la generación de hongos, problema que se soluciona con un tratamiento previo de la madera. De acuerdo a las propiedades mecánicas de compresión, tensión y flexión estática. La especie es muy resistente a las fuerzas provocadas por las corrientes de aire, y a las provocadas por el movimiento radial de las paletas de los aerogeneradores.

La el proceso Sol- Gel y la técnica de inmersión remoción (Dip Coating) presenta excelentes alternativas para la fabricación de recubrimientos para madera.

La mezcla polimérica fabricada al 65% de PVAc - Sílice, Silquest y metanol como solvente, presenta excelentes propiedades como recubrimiento de madera para ser usado en fuentes alternas de energía.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACYT por el apoyo otorgado, al proyecto FOMIX de clave QRO-2010-01-146489, al alumno Gumersindo Mixteco Zepahua por su apoyo y participación en el proyecto.

6. Referencias

- [1] Niembro Rocas Aníbal, et-al. Catalogo de frutos y semillas de árboles y arbustos de valor actual y potencial para el desarrollo forestal de Veracruz y Puebla. (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz (TILIACEAE) Jonote. INECOL, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 485-489 pp. (2004).
- [2] Pennington T.D & J. Sarukhán. Árboles Tropicales de México, manual para la identificación de las especies. Texto Científico Universitario. UNAM-FCE. México. 523 p. (2005).
- [3] Pennington, T. D. y Sarukhán, J. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Serie Texto Científico Universitario. Instituto de Ecología. UNAM-FCE, D. F. 521. p. (1998).

**XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013**

- [4] Fritz Duran Alexander. Manual, La Construcción de Viviendas en Madera. Capítulo 1. Centro de transferencia tecnológica. Corporación Chilena de la Madera, 13 – 55 pp. Revisado el 20 de noviembre del 2012 en: <http://www.cttmadera.cl/2007/03/31/la-construccion-de-viviendas-en-madera>. (1991).
- [5] Raven Peter, F. Evert Ray, E. Eichhom Susan. Biología de las plantas. 2. Reverte. 402 pp. Revisado el 20 noviembre del 2012 en: http://books.google.es/books?id=xvNd3udrh1YC&dq=Biolog%C3%ADa+de+las+plantas+volumen+2&hl=es&source=gb_s_navlinks_s. (1992).
- [6] Zarate Morales R.P. et – al. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de grevillea robusta a Cunn. Edit. Madera y bosques instituto de ecología a. C. México. Vol. 7 numero 001. Pp. 14. (2011).
- [7] Nájera Luna, Juan Abel, et-al. Propiedades físicas y mecánicas del Quercus laeta Liemb de El salto de Durango. Ra Ximhai. 1. p. 19. (2005).
- [8] Montecinos José A, Cerrogrande T. Gregorio, Ponce C. Juan Edgar. Propiedades físico-mecánicas de la madera de las especies forestales Sirari (Copaifera chodatiana) y Tarara colorada (Platymiscium ulei). Documento científico No. 1 – 2008 FOMABO-PROINFOR. Sata Cruz de la sierra Bolivia. 32 pp. (2008).
- [9] González Ahumada Israel, Cerón Cardeña Miguel A., Solís Rodríguez Luis E. Esfuerzos cortante y de tensión paralelos a la fibra en madera tropical de crecimiento rápido. FIUADY. 8. 32 pp. (2004).
- [10] Echenique-Manrique, Ramón, y Robles Fernández Francisco. (1993). Ciencia y Tecnología de la Madera I. Veracruz. México 136 pp. (1993).
- [11] Norma Nch176/2 of 86. Madera-parte 2 Determinación de la densidad. Instituto Nacional de Normalización. INN. Chile. 17 p. (1988).
- [12] Norma Nch176/1 of 86. Madera- Determinación de humedad. Instituto Nacional de normalización. INN. Chile. 4 p. (1986).
- [13] Norma COPANT 461-1972. Maderas – Método de determinación del peso específico aparente. Buenos Aires Argentina.
- [14] NMX-EE-167-1983. Envase y embalaje - Madera contracción – lineal método de prueba.
- [15] Norma Nch973 of 86. Madera- Determinación de las propiedades mecánicas- Ensayo de compresión paralela. Instituto Nacional de normalización. INN. Chile. 13 p. (1986).
- [16] Norma Nch974 of 86. Madera- Determinación de las propiedades mecánicas- Ensayo de compresión perpendicular a las fibras. Instituto Nacional de normalización. INN. Chile. 11 p. (1986).
- [17] D 143-94. ASTM. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of timber. (2000).
- [18] Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber. British Standard. 28 pp. (1957).

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013

- [19] Campos, A. Cubillos, G. Morales, F. Pastene, A. Propiedades y usos de especies de maderas de corta rotación. Santiago de Chile. Corporación de Fomento de la Producción (CORPO). 87 p. (1990).
- [20] C. J. Brinker y G. W. Scherer. Sol - gel Science, Academic Press Inc. (1990).
- [21] Pérez, V. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas Chilenas. Santiago de Chile. Corporación Nacional Forestal. 451 p. (1983).
- [22] Castro Fernando y Raigosa Jaime. Crecimiento y propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) de 17 años de edad en san Joaquín de abangares Costa rica. Universidad de Costa Rica. Costa rica. 24. 7-23 pp. (2000).
- [23] Rivero Jaime. Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Tectona grandis*. Bolivia. Revisado el 05 de diciembre del 2012 en: http://www.monografias.com/trabajos16/gmelina-arborea/gmelina_arborea.shtm l#h#ixzz2H8eVuan3. (2004).
- [24] Vargas, J. "Cultivo de Teca (*Tectona grandis* L.F.) en el Valle de Sacta". II Reunión Nacional sobre Investigación Forestal. Cochabamba, Bolivia. (2003).
- [25] Arostegui, A. Sato A. Propiedades físico-mecánicas y usos de dos especies de *Podocarpus* (P. Rospigliosi Pilger, P. Montanus var. Meridensis Bucholz y Gray) Revista Forestal del Perú. 4. 10 pp. (2000).
- [26] Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Norma técnica complementaria para diseño y construcción de estructuras de madera. Tomo 1. Gobierno del Distrito Federal. 284 pp. (2004).