

INVESTIGACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

**de los troncos de palma de aceite para
la industria de muebles**

AN INVESTIGATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES

of Trunks of Palm Oil Trees for the Furniture Industry

AUTORES

**Thanate Ratanawilai
Tanong Chumthong
Sittipon Kirdkong**

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Prince of Songkla University
Hatyai, 90112, Songkhla,
Thailand
thanater@psu.ac.th

Palabras CLAVE

Madera de palma de aceite,
madera de caucho, teca,
propiedades mecánicas,
muebles

Palm oil wood, rubberwood,
teak, mechanical property,
furniture.

Tomado de:
Journal of Oil Palm Research
(Special Issue – April 2006)
p.114–121

RESUMEN

Los muebles de madera de alta calidad deben tener en cuenta varios factores como por ejemplo las propiedades de las maderas, diseño de producto, proceso de producción y control. Las propiedades mecánicas son consideradas como uno de los factores más importantes en las fases de diseño del producto y selección de material. El objetivo de este estudio es la comparación de las propiedades mecánicas de la madera de palma de aceite, caucho y teca, que son ampliamente usadas por la industria de muebles. Se cortaron muestras de la base, la parte media y la parte superior de troncos de palma de aceite y se midieron siete parámetros usando métodos y procedimientos estándar. Los parámetros incluyeron gravedad específica, contenido de humedad, esfuerzo de flexión, esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra, dureza, compresión paralela a la fibra, esfuerzo de impacto. Los resultados generales mostraron que las propiedades mecánicas de los troncos de palma de aceite eran aproximadamente dos veces más bajas que las propiedades de la madera de teca y de caucho. Diferentes porciones del tronco de la palma de aceite dieron diferentes propiedades mecánicas. Se encontró que la base del tronco de la palma de aceite presenta módulos de elasticidad más bajos que la porción superior pero al mismo tiempo presenta mayor dureza que las otras. Por lo tanto, este estudio proporciona información esencial sobre qué tan adecuada es la madera de palma de aceite para aplicaciones en la industria de muebles de madera.

SUMMARY

High quality Wood furniture requires several factors, such as properties of wood, products design, production process and control which must be considered. Mechanical properties are considered to be some of the most important factors at the stages of product design and material selection. A comparison of mechanical properties be-



tween palm oil wood, rubberwood and teak, which are widely used in the furniture industry, is the objective of this study. The base, middle and top samples were cut from palm oil trunks and seven parameters were measured using standard methods and procedures. They included specific gravity, moisture content, bending stress. The overall results showed that the mechanical properties of palm oil trunk were approximately two times lower than those of teak and rubberwood. Different portions of the palm oil trunk also gave different mechanical properties. It was found that the base of the palm oil trunk gave the lowest modulus of elasticity than the top portion but provided higher hardness than the others. Hence, this study provides essential information on the suitability of palm oil wood for applications in the furniture industry.



INTRODUCCIÓN

Por muchos años, la madera ha sido usada para construcción de casas y otras estructuras como muebles y herramientas, por sus características únicas. Los muebles de madera son unos de los productos más populares entre la amplia variedad de usos de la madera. Actualmente, la creciente demanda por muebles de madera ha conducido a un continuo esfuerzo para encontrar fuentes alternativas de madera para la industria de muebles. La teca era la madera más popular para la fabricación de muebles. Sin embargo, el precio de la teca ha venido aumentando rápidamente en la medida en que la teca misma se considera como una madera que no es fácil de encontrar.

La madera de caucho se ha convertido en otra fuente de materia prima para la industria de muebles y ha sido ampliamente usada. En la región sur de Tailandia y Malasia se encuentran plantaciones de caucho en todas partes. Al mismo tiempo, las plantaciones de palma de aceite han venido creciendo rápidamente en las dos regiones mencionadas y tienden a reemplazar las plantaciones de caucho en muchas áreas. La palma de aceite ha demostrado ser una fuente económica importante en las áreas tropicales de Sudeste Asiático, especialmente en la zona sur de Tailandia y Malasia.

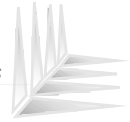
Una gran variedad de productos se han desarrollado a partir de las diferentes partes de la palma de aceite. Por ejemplo, las fibras de la hoja de la palma de aceite se usan para hacer tableros aglomerados (Lamsuk, 2003). Sin embargo, todavía no se ha logrado usar efectivamente el tronco de la palma de aceite.

Para usar las maderas completamente, es vital entender sus propiedades físicas y mecánicas. Básicamente, todas las maderas se componen de celulosa,

lignina, hemicelulosa y cantidades menores de otros materiales (5 a 10%) contenidos en la estructura celular (Forest Product Laboratory, 1999).

La característica particular de una madera depende de las variaciones en las características y en las cantidades de estos componentes, y de las diferencias en su estructura celular. Por lo tanto, para aprovechar la madera al máximo y en forma más efectiva en la industria de muebles, se deben tomar en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Muchos estudios han investigado las propiedades de la madera. Por ejemplo, Sobier *et al.* (2003) investigaron la respuesta mecánica de la madera de Palmira que se encuentra en áreas tropicales del Sudeste Asiático, particularmente en Sri Lanka. Los estudios se realizaron para evaluar la respuesta mecánica de la madera de Palmira y para desarrollar estimativos de propiedades permisibles. Ratanawilai *et al.* (2003) estudiaron las propiedades mecánicas de aglomerados de partículas y de fibra de densidad media. También, Ntalos *et al.* (2002) reportaron una investigación sobre la posibilidad de usar podas de vid como materia prima para elaborar aglomerados de partículas.

Los resultados mostraron que la sustitución parcial de madera por podas de vid, afecta negativamente las propiedades del aglomerado. El esfuerzo de flexión, cohesión interna y resistencia a la extracción de tornillos disminuyeron a medida que las partículas de poda de vid aumentaron. Todos los estudios mencionados han ayudado a ingenieros en el diseño y uso eficiente de la madera. Por lo tanto, para usar efectivamente la madera de la palma de aceite, especialmente los troncos, se deben caracterizar sus propiedades mecánicas. Se cortaron muestras de troncos de palma de aceite y se sometieron a pruebas de acuerdo a normas homologadas. Por lo tanto, el pin-



El objetivo del estudio fue investigar las propiedades mecánicas de los troncos de palma de aceite y compararlas con las propiedades de la madera de teca y de caucho, y presentar la conveniencia de usar madera de aceite de palma en la industria de muebles. Como un material alternativo a la madera de caucho y teca, los troncos de palma de aceite pueden aliviar la intensa tala de los bosques y proporcionar una fuente adicional de ingresos para los productores de palma de aceite.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales de madera

Debido a que los árboles están constantemente sometidos a cambios ambientales, como humedad, condiciones de suelo y espacio de crecimiento durante su desarrollo, las propiedades de la madera también varían considerablemente. En este estudio se seleccionaron palmas de 20 años de plantaciones localizadas en la zona sur de Tailandia. Las palmas cortadas medían aproximadamente 10 m de altura y 0,5 m de diámetro. Para las pruebas mecánicas, los troncos se cortaron en tres porciones: base, parte media y parte superior. Las mismas partes de cada palma se secaron al aire hasta lograr el equilibrio en contenido de humedad antes de realizar las pruebas de propiedades mecánicas de acuerdo a las normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), las Normas Británicas (BS), y las Normas Industriales de Tailandia (TIS). Las muestras en la Figura 1 se secaron en un horno a 105°C durante 24 horas para reducir el contenido de humedad a aproximadamente 10 -12%, y luego se midieron las propiedades mecánicas.

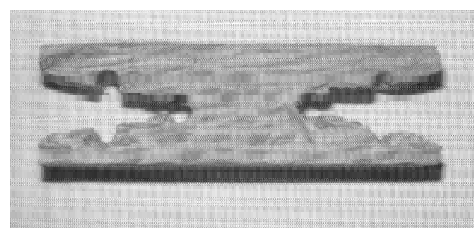
Pruebas Mecánicas

Se realizaron siete pruebas en un esfuerzo para determinar algunas de las propiedades mecánicas que podrían ser de interés para un ingeniero en el diseño de muebles de madera. Se usaron cinco muestras para cada prueba. Las siete pruebas mecánicas realizadas incluyeron lo siguiente:

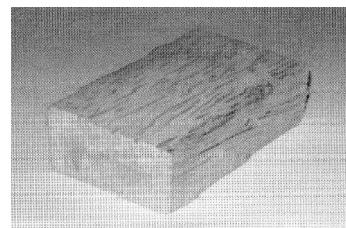
Contenido de humedad, peso y gravedad específica (TIS 497-2526). Las muestras se molieron hasta lograr un tamaño de 20 mm x 20 mm x 20 mm, se secaron en horno a 105°C durante 24 horas para reducir el contenido de humedad a 10 -12%. El contenido de humedad se midió usando un medidor de humedad (Testo 606).

Prueba de flexión (BS 373). Para la prueba de flexión, se usaron muestras individuales de 20 mm x 20 mm x 300 mm. Se aplicó peso a la muestra en incrementos escalonados de 20 kg. La prueba se consideró terminada al cumplirse una de las siguientes condiciones: (a) la muestra se rompió, (b) la carga aplicada fue menos del 10% de la máxima fuerza a medida, o (c) la desviación en el medio de la muestra llegó a 600 mm.

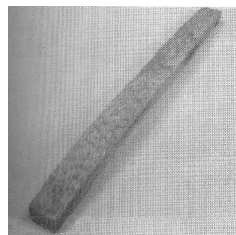
Esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra (ASTM D3500). Se usaron muestras de 20 mm x 20 mm x



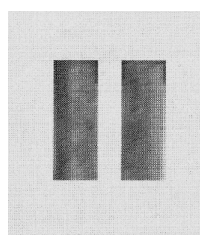
Prueba de tensión



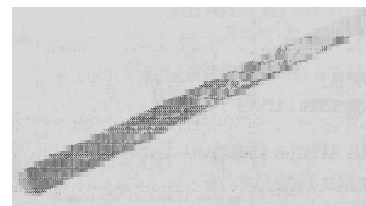
Prueba de dureza



Prueba de flexión



Esfuerzo de compresión
paralelo a la fibra



Prueba de impacto

Figura 1. Muestras de troncos de palma de aceite para pruebas mecánicas.

70 mm. Las formas en V en los extremos de cada muestra se insertaron en las garras de sujeción inferior y superior de la máquina de prueba de tensión. Se aplicó presión en dirección perpendicular a la fibra hasta romper la muestra.

Prueba de dureza (ASTM D143). Se usaron muestras de 50 mm x 50 mm x 70 mm. Se usó la prueba modificada de dureza de Janka para medir la carga requerida para incrustar la mitad de una bola de 11,28 mm (0,444 pulgadas) de diámetro en la muestra.

Esfuerzo de compresión paralelo a la fibra (ASTM D3501). Se usaron muestras de 15 mm x 15 mm x 60 mm. Se aplicó presión en dirección paralela a la fibra de la muestra hasta romperla.

Esfuerzo de impacto (ASTM D143). Se usaron muestras de 20 mm x 20 mm x 300 mm. En esta prueba, un martillo de un peso determinado se soltó sobre una viga a alturas sucesivamente más altas hasta romperla o desviarla 152 mm (6 pulgadas) o más.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las pruebas se muestran y se discuten en esta sección. Los valores promedio de cinco replicaciones de la prueba de gravedad específica (G), prueba de flexión, prueba de compresión, prueba de

tensión, prueba de dureza, y prueba de impacto transversal están tabuladas en la Tabla 1.

Gravedad específica

La gravedad específica es un excelente indicador de la cantidad de sustancia contenida en una pieza de madera. La sustancia de la que está compuesta la madera es más liviana que el agua. Por lo tanto, una pieza de madera seca flota en el agua, y es evidente que parte de su volumen está ocupado por cavidades y poros. Las variaciones en el tamaño de estas aberturas y en el grosor de las paredes celulares causan que unas especies tengan más materia por unidad de volumen que otras, por lo tanto, mayor gravedad específica. En este estudio, se encontró que la gravedad específica de la base (0,51) fue más alta que la de la parte media (0,45) y la parte superior (0,38) del tronco de la palma de aceite, indicando que la base tiene más sustancia de madera por unidad de volumen que las otras partes. No obstante, los valores de gravedad específica también reflejan la presencia de gomas, resinas y extractos, que contribuyen muy poco a las propiedades mecánicas.

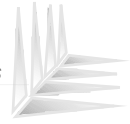
Prueba de flexión

Para determinar la resistencia y la deflexión de la madera en la fase de diseño de muebles, se requiere

Tabla 1. Propiedades mecánicas de varias maderas

Propiedades mecánicas	Madera dura (Teca) *	Madera dureza media (Caucho) **	Madera blanda (palma de aceite)					
			Base		Parte media		Parte superior	
			Promedio	Std	Promedio	Std	Promedio	Std
Gravedad específica (12% contenido de humedad)	0,64	0,70	0,51	0,09	0,45	0,05	0,38	0,06
Prueba de flexión Módulo de elasticidad (kg cm ²)	1,04E+6	9,60E+04	2,90E+04	1.920	4,63E+04	2147	5,37E+04	6.604
Esfuerzo límite proporcional (kg cm ²)	665	600	335,2	21,6	308,8	7,4	286,2	9,8
Módulo de ruptura (kg cm ²)	1.023	973	475,4	12,9	437,5	4,6	384,6	18,3
Energía de ruptura (kg cm ³)	1,9	2,4	0,52	0,01	0,34	0,01	0,28	0,01
Esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra (kg cm ²)	23	28	10,53	0,62	8,57	0,14	6,41	0,30
Esfuerzo de compresión paralelo a la fibra (kg cm ²)	505	478	210,6	15,2	190,6	7,5	308,3	21,4
Prueba de dureza (kg)	510	532	198,5	8,9	161,0	8,2	113,0	8,5
Prueba impacto transversal Total energía absorbida (kg-m)	1,7	2,9	0,75	0,11	0,55	0,05	0,99	0,04

Fuentes: *Visutitepekul (1997); **Tepaya (1998); Std = Estándar



el resultado de la prueba de flexión estática. La Tabla 2 resume la deflexión de la madera de palma de aceite en la base, en la parte media y en la parte superior. Los datos se graficaron en la Figura 2 y muestran que después de aumentar la carga en 20 kilogramos en cada paso, se encontró que la parte de la base presentó la mayor deflexión de 0,878 cm a la máxima carga de 88,4 kilogramos. También se encontró una diferencia significativa en la deflexión de la base y la parte superior del tronco de aproximadamente 40%. Esto se puede explicar por la alta gravedad específica de la base del tronco, como se muestra en la Tabla 1. Por lo tanto, presentó la deflexión más alta y pudo absorber más carga que las otras partes del tronco.

A partir de la prueba de flexión también podemos determinar el módulo de elasticidad, esfuerzo límite proporcional, módulo de ruptura y energía de ruptura. El módulo de elasticidad implica que las deformaciones producidas por bajo esfuerzo son completamente recuperables después de retirar las cargas. Cuando se cargaron a niveles de esfuerzo más altos, ocurrió falla o deformación plástica. Con base en los resultados en la Tabla 1, se encontró que el módulo de elasticidad de la parte superior fue el más alto comparado con la parte media y la base del tronco de la palma de aceite. La Figura 3 muestra que los valores del módulo de elasticidad para madera de teca y de palma de aceite son significativamente diferentes. Esto indica que la teca proporciona mayor rigidez que las otras maderas debido a su alto módulo de elasticidad.

El esfuerzo límite proporcional es el máximo en que el esfuerzo es directamente proporcional a la tensión. La Figura 3 también muestra que la base dio el valor más alto equivalente a 335,2 kilogramos cm^{-2} , mientras que la parte superior dio el valor más bajo de 286,2 kilogramos cm^{-2} . Los valores del módulo de ruptura y la energía de ruptura también se clasificaron en el mismo orden del esfuerzo límite proporcional de la base a la parte su-

perior, con valores de 475,4 - 437,5 y 384,6 kilogramos cm^{-2} y 0,52 - 0,34 y 0,28 kg-cm cm^{-3} , respectivamente, como se muestra en la Figura 4. El módulo de ruptura reflejó la capacidad máxima de carga del miembro en flexión y fue proporcional al momento máximo soportado por el espécimen. Como resultado, los datos indicaron que la parte de la base presen-

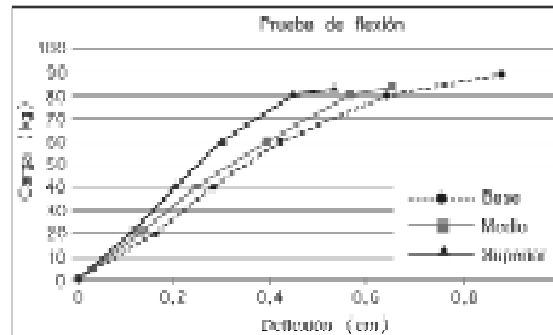


Figura 2. Relación entre deflexión y carga bajo la prueba de flexión.

Tabla 2. Efecto de la carga en la deflexión bajo la prueba de flexión.

Carga (Kg)	Deflexión, Y (cm)		
	Base	Parte media	Parte Superior
0	—	—	—
20	0,16	0,13	0,11
40	0,28	0,25	0,20
60	0,42	0,39	0,30
80	0,64	0,56	0,45
88,4 (base)/83 (parte media)/ 82,4 (parte superior)	0,88	0,65	0,53
% aumento comparado con la base	—	25,55	39,37

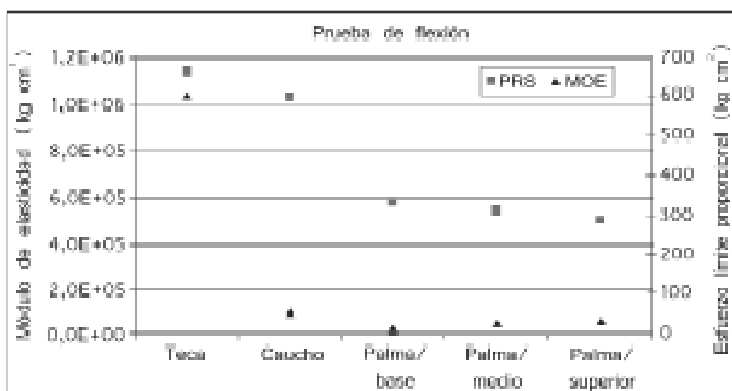


Figura 3. Módulo de elasticidad (MOE) y esfuerzo límite proporcional (PRS) de varias maderas.

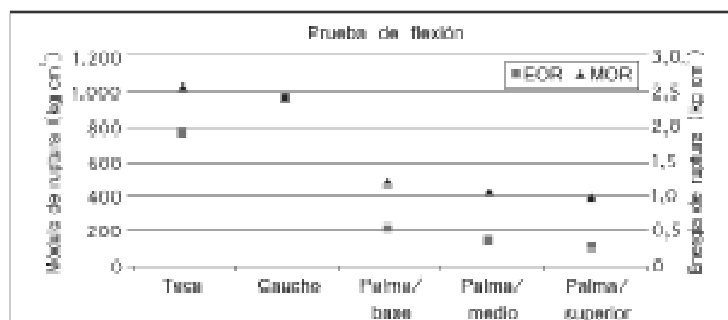


Figura 4. Módulo de ruptura (MOR) y energía de ruptura (EOR) de varias maderas.

tó la resistencia más alta entre las tres porciones del tronco en la palma de aceite, pero aproximadamente 54 y 51% menor que la resistencia de la madera de teca y de caucho, respectivamente

Esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra

La resistencia de la madera a fuerzas que actúan perpendicularmente a la fibra y que tienden a dividir a un miembro se llama esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra. Esta información es útil para la industria de muebles para determinar el ensamblaje de madera conectado mecánicamente. Entre las muestras de palma de aceite, la parte de la base presentó el más alto esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra equivalente a $10,53 \text{ kg cm}^{-2}$ como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 5. Sin embargo, fue más bajo que el esfuerzo de tensión de la madera de teca (23 kg cm^{-2}) y de caucho (28 kg cm^{-2}) aproximadamente 54 y 62% respectivamente. Por lo tanto, la utilización de troncos de palma de aceite en la fabricación de partes de muebles debe seleccionarse cuidadosamente.

Esfuerzo de compresión paralelo a la fibra

El esfuerzo de compresión paralelo a la fibra se define como el máximo esfuerzo soportado por un espécimen, teniendo el espécimen una proporción de longitud con la dimensión más pequeña de menos de 11. Los resultados mostraron que el esfuerzo de compresión más alto para troncos de palma de aceite se observó en la parte superior y fue de 308 kg cm^{-2} (ver Tabla

1 y Figura 6), mientras que el esfuerzo de compresión de la madera de teca y caucho fue 505 y 478 kg cm^{-2} respectivamente. Con frecuencia, muchas partes de muebles se seleccionan en términos de esfuerzo de compresión paralelo a la fibra. Por lo tanto, este tipo de comparación debe ser útil para el diseño de muebles.

Prueba de dureza

La dureza, generalmente definida como la resistencia al rayado usando una prueba modificada de dureza de Janka, se mide en términos de la carga requerida para incrustar la mitad de una bola de 11,28 mm (0,444 pulgadas) de diámetro. Se llevaron a cabo pruebas de dureza en ambos lados de la muestra y se calcularon los valores medidos promedio. El valor más alto de dureza fue de 198,5 kg y se encontró en la base, mientras que el valor más bajo se obtuvo en la parte superior como se muestra en la Tabla 1 y la Figura 7. Como se esperaba, la dureza del tronco de la palma de aceite fue menor que la dureza de la madera de teca (510 kg) y la madera de caucho (532 kg), aproximadamente en

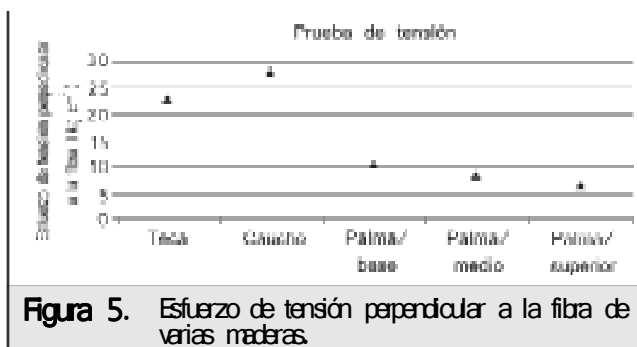
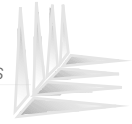


Figura 5. Esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra de varias maderas.



Figura 6. Esfuerzo de compresión paralelo a la fibra de varias maderas.



61 y 63% respectivamente. El valor más alto de dureza proporciona mayor resistencia al rayado. Por lo tanto, de las tres partes del tronco de la palma de aceite, la base mostró la mejor resistencia al rayado y es la más adecuada para la fabricación de muebles cuando se requiere una superficie dura.

Prueba de impacto transversal

Para la prueba de impacto se suelta un martillo de un peso determinado sobre una viga desde alturas sucesivamente mayores hasta que ocurra la ruptura de la viga o la viga presente una desviación de 152 mm (6 pulgadas) o más. La altura máxima, o la caída que cause la falla, es un valor comparativo que representa la habilidad de la madera de absorber golpes hasta su límite proporcional. La Tabla 1 y la Figura 7 muestran que la energía total más alta absorbida por los troncos de la palma de aceite se encuentra en la parte superior con un valor de 0,99 kg-m, mientras que la energía absorbida por la madera de teca (1,7 kg-m) y caucho (2,9 kg-m) fue aproximadamente 42 y 66% más alta, respectivamente. Aunque los resultados implican que la parte superior fue la más resistente y pudo absorber más energía en las otras partes del tronco, no es tan fuerte como la madera dura y semidura.

CONCLUSIÓN

En este estudio se investigaron las propiedades mecánicas de los troncos de palma de aceite. Después de comparar las tres porciones de los troncos de palma: la base, la parte media y la parte superior, se observó que los valores más altos del módulo de elasticidad, módulo de ruptura, esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra y dureza se obtuvieron en la base del tronco. Por otro lado, los valores más altos de esfuerzo de compresión paralelo a la fibra y energía total absorbida bajo la prueba de impacto transversal, se

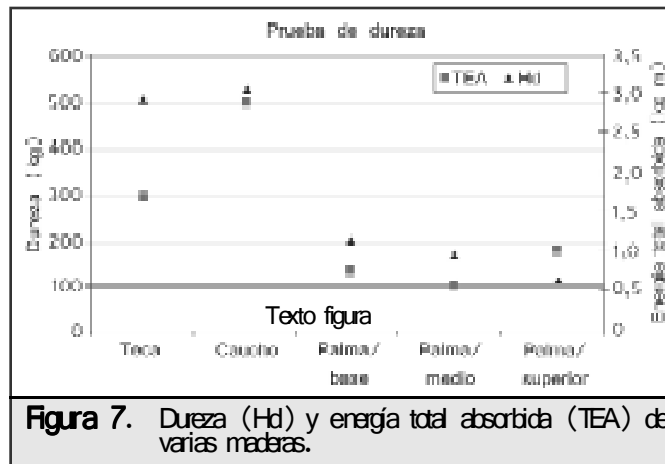


Figura 7. Dureza (Hd) y energía total absorbida (TEA) de varias maderas.

encontraron en la parte superior del tronco. Se encontró que la mayoría de las propiedades mecánicas más altas del tronco de la palma de aceite fueron aproximadamente dos veces más bajas que los valores obtenidos en madera de teca y caucho. Como resultado, es necesario seleccionar cuidadosamente la sección del tronco de la palma de aceite para la adecuada utilización en la fabricación de muebles, y sobre todo, las propiedades mecánicas deben corresponder a las funciones y requerimientos de cada pieza particular del mueble. Este estudio, por lo tanto, proporciona información importante acerca de las propiedades mecánicas de la madera en la palma de aceite, lo que es esencial en la utilización de la madera de palma en la industria de muebles. Además, los hallazgos se pueden usar como un conocimiento básico y como el punto de partida para encontrar una gama más amplia de aplicaciones para esta madera.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente patrocinado por el Departamento de Ingeniería Industrial y el Grupo de Investigación de Diseño Industrial, Facultad de Ingeniería, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, Thailand.



REFERENCIAS

- ASTM D143. 2000. *Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber*.
- STM D3500 .2003. *Standard Test Methods for Structural Panels in Tension*.
- ASTM D3500. 2000. *Standard Test Methods for Wood-Based Structural Panels in Compression*.
- British Standard. BS 373. *Methods of testing small clear specimens of timber*.
- Forest Product Laboratory. 1999. *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Ntalos, GA; Grigoriou, AH. 2002. Characterization and utilization of vine pruning as a wood substitute for particleboard production. *Industrial Crops and Products An International Journal* 59-68.
- Sobier, H; Menzemer, CC; Srivatsan, TS. 2003. An investigation and understanding of the mechanical response of Palmyrah timber. *Material Science and Engineering*, A354: 257-269.
- Lamsuk, N. 2003. Making particleboard using fronds of palm oil tree. *The Oil Palm Newsletter*: 2, 5.
- Visutitpakul, S. 1997. *Characterization and Properties of Rubberwood*. The Forest Research Office, Thailand TIS (1983). *Thai Industrial Standard for Kiln-Dried Sawn Timber*.
- Tepaya, T. 1998. *Identification of Good Practice in Sawn Rubberwood Drying Process*. The Thailand Research Fund, Thailand.
- Ratanawilai, T; Chaiwirat, W; Detpichai, A. 2003. A comparison of mechanical properties of particleboard, medium density fiberboard, and finger joint. The final year project, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University