

TRANSFORMACIÓN MECÁNICA DE LA MADERA CON BAJO IMPACTO AMBIENTAL

MsC. Ayessa Leckoundzou¹; Dr. Daniel Alvarez-Lazo¹; Dr. Ignacio Estévez-Valdés¹; MsC. Pedro Pablo Chávez¹; Dra. Inés González-Cruz¹; Dr. Joaquín Alaejos-Gutierrez²,

¹Universidad de Pinar del Río, Martí #270, esq. 27 de noviembre, Pinar del Río, C.P. 20100, Cuba.

²Universidad de Huelva. Huelva. España E-mail: ayessa03@ext.upr.edu.cu

RESUMEN

Con la finalidad de elevar la eficiencia del proceso de transformación mecánica de la madera en la industria de transformación primaria y secundaria, se utiliza la matemática como herramienta de trabajo, facilitando el perfeccionamiento del aserrado de la madera y la elaboración de muebles de piezas conformadas de chapas de madera de un grupo de especies que se emplean muy poco en el sector del mueble; logrando aumentar el valor agregado de nuestros recursos naturales. Mediante la utilización de la espectroscopia del infrarrojo próximo se predicen las propiedades de la madera y su variación en la dirección médula corteza, con lo cual se crean las condiciones necesarias para la orientación de esquemas de aserrado que permitan reducir las deformaciones de la madera a partir de los cambios de humedad, cuando las piezas aserradas están puesta en servicio; incrementando además la eficiencia del proceso de aserrado con un ahorro de no menos del 13 % de la materia prima, lo que significa una ganancia superior a 300 000 dólares en los aserraderos de la provincia de Pinar del Río. A su vez, a partir de la tecnología para la producción de muebles de piezas conformadas se pueden producir más de 50 piezas por m³, lo que equivale a una ganancia superior a los 8 500 pesos. La implementación de los resultados obtenidos posibilita reducir la necesidad de utilizar más de 100 ha de bosques lo que sin duda alguna repercute positivamente en la conservación del medio ambiente.

Palabras clave: Madera, medio ambiente, propiedades mecánicas

ABSTRAT

With the aim at elevating the efficiency of the mechanical transformation of Wood, both primary and secondary, mathematics is being used as tool, and this facilitates the improvement at timber sawing and the elaboration at furniture and pieces made at wood board at some species which are used for making furniture. This will add value to our natural resources. With the use of infrared spectroscopy an estimation of wood qualities and variation can be done, for example, the direction between the pith and the cortex, with, it would be easier to create the necessary conditions which are necessary for the orientation of sketches of sawing which permit the reduction of wood deformation. This will the wood pieces are in service, this will increase the efficiency of the sawing process with a 13% wood sawing, and this signifies a profit of more than 300000dollars of the raw material (wood/timber) in the Pinar del Rio sawmills. Meanwhile with the technology at producing furniture, more than 50 pieces can be produced from each meter cubed (m³), this is equivalent to a profit of more 8500 pesos. The implementation of the results obtained helps to reduce the necessity to use more than contributes in the forest which indeed contributes in the conservation of the environment.

Key words: Wood, environments, mechanical properties

INTRODUCCION

Las especies que crecen en nuestras áreas forestales están sujetas a las existencias de considerables variaciones en las condiciones de crecimiento, como es el caso del tipo de suelo, naturaleza del terreno y condiciones del clima. Tales factores tienen

una marcada influencia sobre las propiedades de la madera (Ormarsson, 1999), ya que la madera como resultado del crecimiento de un ser vivo, adquiere una propiedad intrínseca a los seres inanimados: la diferenciación individual (Vignote y Jiménez, 1996).

Por lo tanto el **objetivo** de este trabajo se relaciona con la determinación de métodos y procedimientos que permitan elevar la eficiencia del proceso de transformación mecánica de la madera, que posibilite una drástica reducción de la emisión de residuos altamente contaminantes del medio ambiente.

DESARROLLO

2. 1 Comportamiento de algunas propiedades físicas en la dirección radial de la madera de la especie de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*

Los valores de la densidad y de la contracción en las diferentes direcciones aparecen en la Tabla 1, que se muestra a continuación.

Tabla 1 Valores medios de algunas propiedades físicas en la dirección radial. Análisis de varianza

PROPIEDADES	POSICIÓN A	POSICIÓN B	POSICIÓN C
Densidad (g/cm ³)	0,622 _a	0,692 _b	0,792 _c
Contracción tangencial (%)	3,848 _a	5,165 _b	6,495 _c
Contracción radial (%)	3,094 _a	4,532 _b	5,302 _c
Contracción longitudinal (%)	0,121 _a	0,089 _b	0,086 _c

Resultados con la misma letra, no existe diferencia significativa entre ellas para $p < 0,05$

Los resultados obtenidos de la densidad en la dirección radial, (Tabla 1), apuntan hacia un incremento de esta magnitud en la dirección médula- corteza, siendo coincidentes con estudios realizados por Alvarez et al (2003) y González (2008).

2. 2 Comportamiento de las deformaciones en las piezas aserradas de dimensiones de (13x100x3000) mm.

A las piezas de madera y después de expuesta al proceso de secado hasta el 18% de humedad se le realizó mediciones del alabeo, curvatura de cara y curvatura de canto. (Tabla 2).

Tabla 2 Valores medios de las deformaciones en tablas (18% humedad). Análisis de varianza

POSICIÓN RADIAL	ALABEO	C. CARA	C. CANTO
A	0,57308a	0,306a	0,213a
B	0,53116b	0,251b	0,151b
C	0,48423c	0,225c	0,101c

Resultados con la misma letra, no existe diferencia significativa entre ellas para $p \leq 0,05$ según SNK.

Los resultados que se muestran (Tabla 2), hacen evidente que las deformaciones varían en la dirección radial disminuyendo hacia la corteza. Es decir, la deformación que experimenta la madera durante el secado depende de la distancia a la médula. En este sentido el resultado es coincidente con los planteamientos de Ormarsson (1999) y Kliger et al (2003).

2. 3. Uso de la espectroscopia de infrarrojo próximo en la predicción de las propiedades de la madera de *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea*.

Dentro de los métodos no destructivos de análisis de la madera se encuentra la Espectroscopia de Infrarrojo Próximo (Figura 1), lo cual ha sido demostrado en varios estudios entre los que se destacan los siguientes: Birkett y Gambino 1998; zSchimleck et al. 2003.



Figura 1 Método de evaluación no destructiva de la madera a partir de la Espectroscopia de Infrarrojo Próximo

En la Tabla 3, se pueden apreciar los resultados obtenidos durante el análisis de los espectros obtenidos, por lo es posible exponer que la espectroscopia de infrarrojo próximo manifiesta una excelente correlación entre los parámetros medidos para tanto en la sección radial como en la transversal; por lo que a partir de la Figura 2, se pueden predecir las propiedades de la madera, coincidiendo con Acuña (2006) y Jones et al. (2005).

Tabla 3 Sumario de la validación cruzada y calibración obtenida

Propiedades de la madera	Validación Cruzada			Calibración		
	R ²	Rank	RMSECV	R ²	Rank	RMSEE
Seccion Radial						
DENS	0.7560	3	48.40	0.7796	3	47.40
MORC	0.8250	2	2.75	0.8460	2	2.68
MOE	0.7131	2	2.00E+003	0.7328	2	1.96E+003
Seccion Transversal						
DENS	0.7018	4	59.80	0.7402	4	57.60
MORC	0.6878	7	3.63	0.7165	7	3.57
MOE	0.6406	4	2.69E+003	0.6935	4	2.58E+003

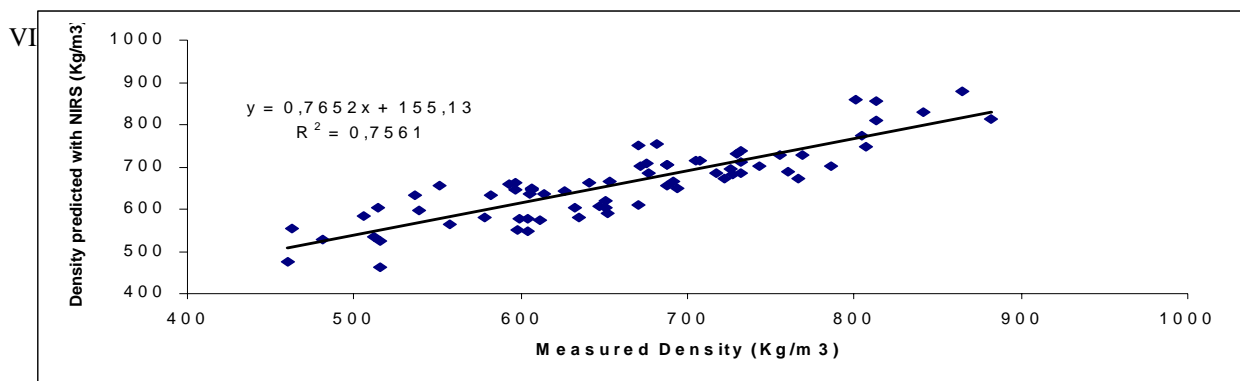


Figura 2 Correlación entre las propiedades obtenidas y las predecidas mediante la Espectroscopia de infrarrojo próximo

2. 4 Manipulación de la madera como materia prima en los aserraderos

En la Tabla 4, se pueden apreciar los resultados obtenidos al realizar los experimentos relacionados con la presencia de hongos que provocan el azulado de la madera aserrada de *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* en el tiempo para el periodo seco así como la mejor variante en el periodo lluvioso.

Tabla 4 Intensidad de ataque por piezas en época de seca y la mejor Variante en época de lluvia. Intensidad de ataque (%)

Tiempo	Período de seca		Período de lluvia	
	Variante I (Madera corta sin corteza)	Variante II (Madera corta con corteza)	Variante III (Madera larga con corteza)	Mejor Variante III (Madera larga con corteza)
I. Corte al inicio	0	0	0	0
II. 7 días	0	0	0	11
III. 14 días	33	0	0	17
IV. 21 días	55	11	2	25
V. 28 días	96	17	24	35
VI. 35 días	96	25	27	39
VII. 42 días	98	36	29	

Como queda demostrado en la tabla anterior, la mejor variante en el período de seca en cuanto a intensidad de ataque es el sistema de aprovechamiento de madera larga con corteza, en el cual hasta los 21 días de permanencia de las trozas en el patio del aserradero la intensidad del ataque es solo del 2 %.

2. 5. EFICIENCIA DE LOS ASERRADEROS

Para la determinación de la distancia de corte para obtener el mayor volumen posible de madera aserrada de la troza utilizamos la Figura 3.

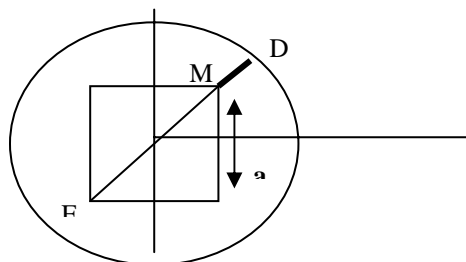


Figura 3 Determinación de la altura óptima de corte para aumentar el rendimiento volumétrico de madera aserrada

Posteriormente multiplicando la norma del vector $2b$ se obtiene la longitud de corte óptima. Por otra parte, también podemos recomendar el procedimiento matemático siguiente como una alternativa para determinar la amplitud del corte de apertura; aspecto este que favorecerá la eficiencia del proceso de aserrado. Figura 4.

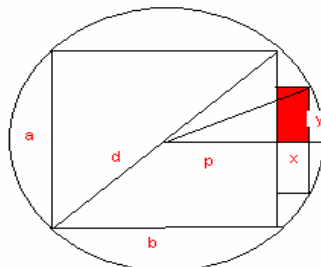


Figura 4 Representación de los diferentes parámetros utilizados en la determinación del corte de apertura

A partir del análisis matemático de la figura 4, se obtiene que

$$0,7288689868 * |r| - 0,5303300858 * r$$

Como r es positivo nos queda que:

$$0,7288689868 * r - 0,5303300858 * r$$

$$x = 0,1985389009$$

(1)

Tenemos que comprobar que $x = 0.1985389009r$ es la máxima, por lo que aplicando el criterio de la segunda derivada tenemos que:

$$y = 0.4240352562 r$$

(2)

Esta expresión permite determinar por dónde se debe dar el primer corte de apertura. En la Tabla 5, se representan los valores promedios de cada indicador de la eficiencia de conversión al emplear la ecuación anterior.

Tabla 5 Valores promedio de diferentes indicadores de la eficiencia de conversiones volumétricas (%) obtenido en los diferentes aserraderos

Aserradero	Variante actual		Variante Propuesta		Diferencia	
	RT	Residuos	RT	Residuos	RT	Residuos
R. Fuentes	45.2	54.80	49.90	50.10	4.7	4.70
A. Barba	43.5	56.50	51.80	48.20	8.30	8,30
F. Donatien	43.5	56.60	50.50	49.50	7.00	7.10
C. de la Tenería	51.3	48.57	60.5	39.50	9.20	9.07

El incremento del rendimiento en un más del 7,0 % obtenido en los aserraderos Albaro Barba y Francisco Donatien a través de la mejor ubicación del corte de apertura de las trozas, equivale a un ahorro de no menos del 13 % de la materia prima, mientras que el aumento del rendimiento en más de un 4,0 % obtenido en el aserradero Rigo Fuentes, significa un ahorro de no menos del 7,0 % del volumen de madera en trozas.

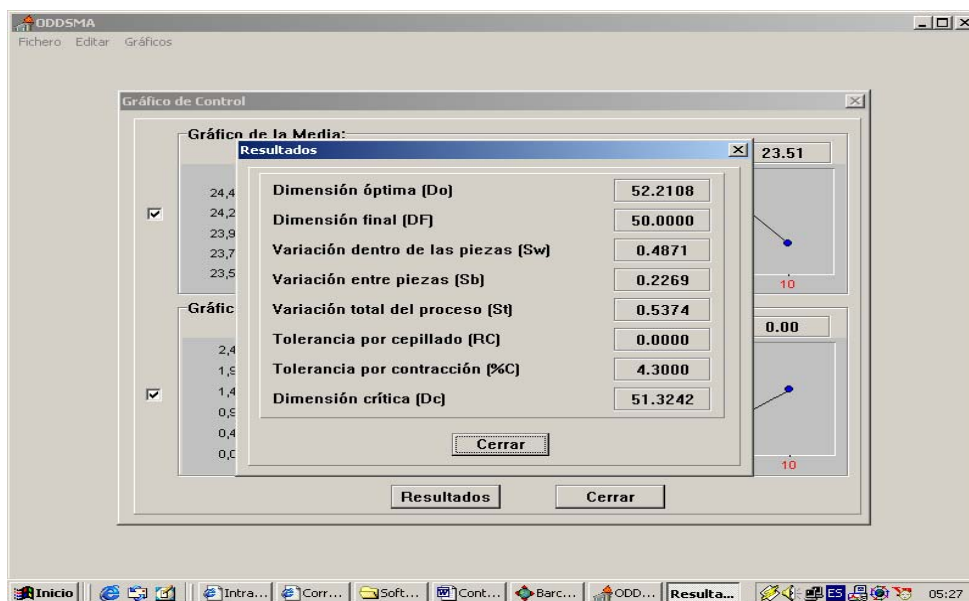
2. 5. 1 CONTROL DE LA CALIDAD DE LA MADERA ASERRADA

En los establecimientos objeto de estudio existe un subdimensionamiento generalizado de la madera aserrada. De acuerdo con los valores de grosor promedio de las piezas muestreadas (Tabla 6), solo en el caso del surtido 75 mm en el aserradero Rigo Fuentes se corta la madera verde con tolerancias de volumen suficientes para satisfacer las dimensiones finales reglamentadas para el mercado.

Tabla 6 Resultados de los cálculos inherentes al control de dimensiones de madera aserrada en el establecimiento Rigo Fuentes

Parámetros	Surtido			
	13 mm	50 mm	75 mm	100 mm
Grosor promedio, mm	13.81	56.39	83.95	108.31
Dimensión final, mm	13.00	50.00	75.00	100.00
Dimensión óptima	18.37	60.25	84.80	113.50
Dimensión crítica	13.58	52.25	78.37	104.49
Desviación estándar dentro de las piezas, mm	2.76	4.21	3.72	4.47
Desviación estándar entre piezas, mm	0.90	2.40	1.19	3.13
Desviación estándar Total	2.90	4.85	3.90	5.46

Por otra parte, debemos establecer que el empleo del programa denominado “Control obtenido en esta investigación para la determinación de las dimensiones óptimas de la madera aserrada (Figura 5) en dependencia de los diferentes factores analizados; así como el análisis de la variación de aserrado en los diferentes aserraderos cuestionados, ha demostrado que se trata de una herramienta factible y adecuada para tomar decisiones dirigidas a aumentar los rendimientos de madera aserrada.

**Figura 5 Elementos del programa “Control”**

Este programa crea condiciones para una mejor relación hombre-máquina lo que proporciona comodidad al usuario durante el trabajo, así como rapidez en el manejo de datos y ficheros; así como en la realización de los cálculos.

2. 6. TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE MUEBLES DE PIEZAS CONFORMADAS DE CHAPAS DE MADERA.

2. 6. 1 Resultados de los ensayos de resistencia mecánica de las piezas conformadas de chapas de madera de las especies investigadas.

Los resultados obtenidos para la resistencia mecánica de las piezas conformadas de chapas de *Pinus tropicalis*, *Eucalyptus citriodora*, *Populus alba* y *Aukomea kleinea* Pierre, se encuentran ubicadas en la (Tabla 7).

El análisis de estos datos permite establecer que las especies investigadas presentan resistencia mecánica acorde a las exigencias internacionales para la tecnología investigada.

Tabla 7 Resultados de la resistencia mecánica de las piezas conformadas de las especies investigadas

Especie	Compresión, MPa	Flexión estática, MPa	Hienda, MPa
Pinus tropicalis	70,25	124,21	,36
Eucalyptus citriodora	74,63	110,19 b	,39
Aukomea kleineana pierre	58,72	102,59	,37
Populus alba	30,82	63,15	,34

2. 7 VALORACION AMBIENTAL DE LA OPTIMIZACION DE LA TRANSFORMACION MECANICA DE LA MADERA

La Industria tendrá el mínimo impacto ambiental sobre el Ecosistemas Forestal, debido a:

- Reducción del número de árboles a talar en la medida que los procesos de transformación primaria y secundaria de la madera sean más eficientes, ya que el volumen de madera a utilizar como materia prima sería el mínimo necesario.

- Reducción del número de acopiaderos principales y secundarios, lo que conlleva a una mejor preservación de las masa boscosa ya que se reduce la necesidad de realizar talas rasas para la construcción de estas áreas de almacenamiento; así como la compactación de los caminos forestales.

- En la medida que se reduzca el desarrollo de agentes patógenos en la madera a partir de una correcta manipulación de los tiempos relacionados con la tala y el procesamiento de los árboles, se reduce la necesidad de utilizar sustancias preservadoras químicas, que sin duda alguna generan determinado nivel de contaminación del medio ambiente.

- A partir de la simple utilización de 10 árboles se obtienen los espectros de la madera, que permiten predecir todas las propiedades de la madera y su comportamiento en uso, con lo cual preservamos en los bosques un gran número de árboles que continuarían haciendo su función en los ecosistemas forestales, fijando CO₂.

- A partir de la correcta implementación de los sistemas de aserrado se logra conservar en los ecosistemas forestales un 13 % de madera en pie, lo cual sin duda repercute en la reducción de la escorrentía e impacto eólico.

1. Existe una relevante variación de las propiedades desde la médula hasta la corteza. Las contracciones tangenciales y radiales, así como la densidad aumentan en la dirección médula corteza; mientras que la contracción longitudinal disminuye.

2. Existe una marcada influencia de la posición de la vitola en la sección transversal de la troza sobre la magnitud de las deformaciones. Las vitolas cercanas a la médula presentan los mayores niveles de deformación.

3. 4. La materia prima (madera en bolo) después de talada deberá manejarse por un tiempo no mayor de 21 días en época de seca y para el período de lluvia no mayor de 14 días par evitar cuantiosas pérdidas en la calidad de la madera aserrada a partir de la presencia del azulado de la madera.

5. La espectroscopia de Infrarrojo próximo es un método viable que posibilita predecir el comportamiento en uso de la madera, reduciendo al óptimo el número de árboles a talar para la elaboración de los ensayos destructivos de determinación de las propiedades de la madera.

6. A través de la mejor ubicación del corte de apertura de las trozas, equivale a un ahorro de no menos del 13 % de la materia prima, lo que significa una ganancia superior a 300 000 dólares en los aserraderos de la provincia de Pinar del Río.

7. A partir de la tecnología para la producción de muebles de piezas conformadas se pueden producir más de 50 piezas por m³, lo que equivale a una ganancia superiora los 8 500 pesos.

8. La implementación de los resultados obtenidos posibilita reducir la necesidad de utilizar más de 100 ha de bosques lo que sin duda alguna repercute positivamente en la conservación del medio ambiente.

CONCLUSIONES

1. Existe una relevante variación de las propiedades desde la médula hasta la corteza. Las contracciones tangenciales y radiales, así como la densidad aumentan en la dirección médula corteza; mientras que la contracción longitudinal disminuye.
2. Existe una marcada influencia de la posición de la vitola en la sección transversal de la troza sobre la magnitud de las deformaciones. Las vitolas cercanas a la médula presentan los mayores niveles de deformación.
3. 4. La materia prima (madera en bolo) después de talada deberá manejarse por un tiempo no mayor de 21 días en época de seca y para el período de lluvia no mayor de 14 días par evitar cuantiosas pérdidas en la calidad de la madera aserrada a partir de la presencia del azulado de la madera.
5. La espectroscopia de Infrarrojo próximo es un método viable que posibilita predecir el comportamiento en uso de la madera, reduciendo al óptimo el número de árboles a talar para la elaboración de los ensayos destructivos de determinación de las propiedades de la madera.
6. A través de la mejor ubicación del corte de apertura de las trozas, equivale a un ahorro de no menos del 13 % de la materia prima, lo que significa una ganancia superior a 300 000 dólares en los aserraderos de la provincia de Pinar del Río.
7. A partir de la tecnología para la producción de muebles de piezas conformadas se pueden producir más de 50 piezas por m³, lo que equivale a una ganancia superiora los 8 500 pesos.
8. La implementación de los resultados obtenidos posibilita reducir la necesidad de utilizar más de 100 ha de bosques lo que sin duda alguna repercute positivamente en la conservación del medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- Acuña, M. A. 2006. Wood properties and use of Sensor technology to improve optimal bucking and value recovery of Douglas fir. Doctoral thesis. Oregon State University. 166 p.
- Alvarez, D., Egas, F. A., Esteves, I., Chavez, P., Garcia, J. M. 2003. Análisis matemático para elevar la eficiencia en los aserraderos. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 2003. No. IX 79-99.
- Birkett, M. D., and Gambino, M.J.T. 1998. Potential applications for near-infrared spectroscopy in the pulping industry. Pap. S. Afr. Nóbél ver/December: 34–38.
- González, Inés. 2008. Análisis de las deformaciones de la Madera. Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, Cuba. 100 p.
- Jones, P. D., Schimleck, L. P., Peter, G. F., Daniels, R. F., Clark III, A. 2005. Non-destructive estimation of *Pinus taeda* L. wood properties for samples from a wide range of sites in Georgia. Can. J. For. Res. (35): 85–92
- Klinger, R., Johansson, M., Perstorper, M., Johansson, G. 2003. Distortion of Norway spruce timber. Holz als Werkstoff (61): 241-250
- Ormarsson, S. 1999. Numerical Analysis of Moisture-Related Distortion in Sawn Timber Chalmers. University of Technology. Canada p. 35
- Schimleck, L.R., Mora, C., and Daniels, R.F. 2003. Estimation of the physical wood properties of green *Pinus taeda* radial samples by near infrared spectroscopy. Can. J. For. Res. **33**: 2297–2305
- Vignote, S., Jiménez, F, J. 1996. Tecnología de la Madera. Editorial Mundi-Press. Madrid. España.