

Determinación de propiedades mecánicas de las fibras de Bambusa Vulgaris a utilizar en tableros prensados

Determination of mechanical properties of fibers of Bambusa Vulgaris to use in bamboo mat board

Lena Mora Rodríguez*¹, Emilio Álvarez García*, Jorge F. Hernández González*

* Universidad Central de Las Villas, Villa Clara, CUBA

Fecha de recepción: 13/ 02/ 2009
Fecha de aceptación: 15/ 06/ 2009
PAG. 153 - 166

Resumen

En la actualidad existe una tendencia mundial al uso de las fibras naturales como material de refuerzo en materiales compuestos, en tal sentido en el presente trabajo se realiza un análisis experimental para determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las fibras de esteras de bambú y en específico la resistencia a la rotura, el módulo de Elasticidad y el coeficiente de Poisson. Además en el trabajo se evalúa la influencia de la temperatura, la presión y el tiempo de prensado sobre el porcentaje de pérdida de humedad y sobre el espesor de la estera de bambú. Obteniendo como principal conclusión que por sus propiedades y características la fibra de bambú resulta una fibra natural que puede ser empleada como material de refuerzo en Materiales Compuestos.

Palabras Clave: Tablero de bambú, fibras de bambú, propiedades mecánicas

Abstract

At the present time a world tendency exists to the use of the natural fibers as reinforcement material in composite materials. In such a sense presently work you to carry out an analogical and experimental analysis to determine the behaviour of the mechanical properties of the bamboo fibers and in specific the resistance to the rupture, the module of Elasticity and the poisson coefficient. Moreover, it is evaluate the influence of the temperature, the pressure and the time on the percent of humidity lost and about the thickness of the bamboo mat board. Finally one has that for their properties and characteristic the bamboo fiber is a natural fiber that may be an employee as reinforcement in Composite materials.

Keywords: Bamboo mat boards, bamboo fibers, mechanical properties

1. Introducción

La utilización de materiales compuestos en el diseño de elementos de máquinas se ha incrementado notablemente en los últimos años. Esta tendencia obedece a la posibilidad de diseñar el material con ciertas propiedades especiales y con ello conseguir cualidades mecánicas superiores a los materiales tradicionales. Los materiales compuestos presentan una favorable relación resistencia-peso y rigidez-peso resultando especialmente adecuados para estructuras en las que el peso constituye una variable fundamental en el proceso de diseño. Dingle (1974). Los componentes estructurales que requieren gran rigidez, resistencia a los impactos, formas complejas y considerable volumen de producción resultan ideales para ser fabricados a partir de materiales compuestos. Por ello, su utilización en la fabricación de piezas para la industria aeronáutica, aeroespacial,

1. Introduction

In the last years, the use of composite materials in the design of machine parts increased considerably. This tendency is attributed to the possibility of designing materials with certain special properties and obtaining, therefore, mechanical qualities that are superior to those of traditional materials. Composite materials present a favorable resistance-to-weight ratio and stiffness-to-weight ratio and, accordingly, they are especially adequate for structures in which weight is an essential variable of the design process Dingle (1974). The structural components that require great stiffness, impact resistance, complex shapes and a large production volume are optimum for manufacturing with composite materials. Therefore, its use in the manufacturing of parts for the aeronautical, aerospace,

¹ Autor de correspondencia / Corresponding author:
E-mail: lena@uclv.edu.cu



naval y de automóviles se ha extendido en los últimos años.

Los materiales compuestos pueden estar constituidos por cualquier combinación de dos o más materiales ya sean metálicos, orgánicos o cerámicos. En la actualidad existe una tendencia mundial al uso de las fibras naturales como material de refuerzo en materiales compuestos. Van Voorn et al. (2001). Como fibras naturales, se entienden los materiales fibrosos que pueden extraerse de la naturaleza, principalmente están constituidos por celulosa y lignina, además de otros componentes en menor cantidad. Ishida y Koenig (1980), Alcides (1998). Entre las reportadas por la literatura para tales aplicaciones se encuentran: el yute, lino, algodón, cáñamo, coco, etc. No se reporta el uso de la fibra de bambú como refuerzo en estos tipos de materiales, y menos en forma de tejido o comúnmente conocido como esteras de bambú, sus fundamentales aplicaciones han sido con fines decorativos, para la fabricación de pisos y otras aplicaciones en viviendas.

En el presente trabajo se realiza un estudio experimental para la determinación de las propiedades mecánicas de las fibras de bambú para lo cual se tomaron muestras de la corteza, y la fibra interior, en todos los casos en tramos con nudo y sin nudo, así como tratadas para su preservación en solución con tabaquina y sin el tratamiento. Para la caracterización mecánica de las fibras, se tomaron como propiedades la resistencia a la rotura, el coeficiente de Poisson, y el módulo de elasticidad. Janssen (1991), Valero et al. (2005). En una segunda etapa de la investigación y a partir de un diseño de experimento se estudia la influencia de la temperatura, el tiempo y la presión sobre la pérdida de humedad de la fibra y el espesor del tablero tejido con esta, lo que permite valorar y justificar el tejido propuesto a partir de evaluar la uniformidad y la homogeneidad física y geométrica del entrelazado de estas fibras en el mismo.

2. Característica del ensayo para la determinación de las propiedades mecánicas

La definición de las propiedades mecánicas de los materiales juega un papel fundamental en la determinación de la habilidad de los mismos para resistir las cargas externas a que deberán estar sometidos los elementos por ellos constituidos. Su determinación guarda especial significación para el diseño de los elementos por cuanto la determinación de la geometría,

naval and automotive industries has greatly increased in the past years.

Composite materials can be made of any combination of two or more materials, either metallic or organic or ceramic. Nowadays, there is a world tendency to use natural fibers as reinforcement of composite materials Van Voorn et al. (2001). Natural fibers are fibrous materials that can be obtained from nature, and they are mainly constituted by cellulose and lignin, and other components in smaller quantities Ishida and Koenig (1980) and Alcides (1998). Among those mentioned in the literature concerning these applications, it is possible to find: jute, flax, cotton, hemp, coconut tree, etc. The use of bamboo fiber as reinforcement of these types of materials is not reported, even less in the form of weave, commonly known as bamboo mat boards. Its main applications are found in decorative purposes, in the manufacture of floors and other housing applications.

This paper presents an experimental study for the determination of the mechanical properties of bamboo fibers; samples were taken from the cortex, and the inner fiber, in all cases in sections with knots and without knots, and they were also subjected to a preservation treatment with a solution of tabaquina and to no treatment at all. For the mechanical characterization of the fibers, the following properties were taken into account: rupture strength, Poisson ratio and elastic modulus Janssen (1991) and Valero et al. (2005). In the second stage of research, and starting from an experimental design, the influence of temperature, time, and pressure on the moisture loss of the fiber and on the thickness of the mat board woven with the same fiber is studied. This allows valuing and justifying the proposed weave by evaluating the uniformity and the physical and geometric homogeneity of the interweaving of these fibers in the weave.

2. Characteristic of the trial to determine the mechanical properties

The definition of the mechanical properties of the materials plays an important role in the determination of their ability to resist the external loads to which the materials are subjected to. Their determination is particularly significant for the design of the elements, because the determination of the geometry,

las formas y dimensiones, así como la propia selección del material, están íntimamente relacionadas con las propiedades mecánicas de estos. Nielsen y Landel (1994), Lee y Joun (1999).

La resistencia a la tracción es la resistencia que ofrece un material al ser extendido. Este ensayo está regido por la Norma ASTM D-638 y las probetas serán del Tipo II, dado el espesor de los especímenes (entre 1,6 y 3.5 mm). Figura 1. Estas probetas permanecen bajo condiciones establecidas por dicha norma de temperatura a $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ y humedad de $(50\pm 5)\%$ durante 24 h antes de ser llevadas a la prueba.

Los ensayos se realizaron a tracción monoaxial en la máquina SZ-500-1 (figura 2) en posibilidad de medir y graficar los valores intermedios de fuerza y alargamiento para la posterior determinación de propiedades mecánicas como el límite de rotura, el módulo de Elasticidad y el coeficiente de Poisson. La velocidad de aplicación de la carga es de 2 mm/min y verificada con los indicadores y en los modos vigentes para una fuerza creciente según ISO 7500-1: 2004 usando un equipo de verificación calibrado según ISO 376: 1999.

the shapes and the dimensions, and the election of the material itself, is closely related to the mechanical properties Nielsen and Landel (1994) and Lee and Joun (1999).

Tensile strength is the resistance that a material offers when being stretched. This test conforms the ASTM D-638 Standard and the specimens shall be Type II, due to the specimens thickness (between 1.6 and 3.5mm) Figure 1. Before testing starts, these specimens remain 24 hours under the conditions established by the temperature $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ and moisture $(50\pm 5\%)$ standards.

The tests were performed in a SZ-500-1 machine (Figure 2) under monoaxial tension in order to measure and register the stress and strain values for the subsequent determination of mechanical properties, such as rupture strength, elastic modulus and Poisson ratio. The loading speed is 2mm/min which is verified with the indicators and through the prevailing means for an increasing strength according to ISO 7500-1: 2004, using a testing equipment calibrated in accordance with ISO 376: 1999.

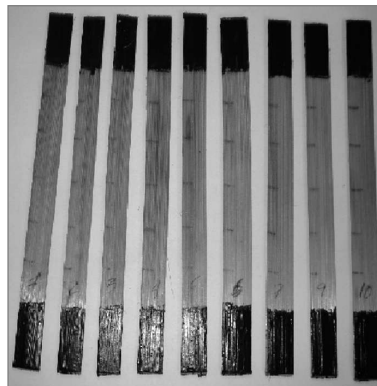


Figura 1. Probetas para ensayos de tracción
Figure 1. Specimens for tensile tests

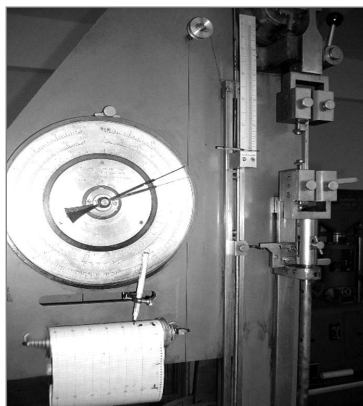


Figura 2. Máquina de ensayo a tracción
Figure 2. Tensile test machine

3. Resultados de la caracterización mecánica de la fibra de Bambusa Vulgaris

En la primera etapa de la investigación se tiene como objetivo conocer si existen diferencias significativas, en cuanto al comportamiento de las propiedades del bambú como material, si se toman muestras de las diferentes partes del mismo. Tanto de la corteza como de la fibra interior se prepararon los correspondientes juegos de probetas o especímenes para cada caso. En todos se tomaron muestras de la parte sin nudo y con nudo. De la parte de la fibra interior se tomaron muestras con y sin tratamiento para la preservación y curado del material.

La investigación se planifica considerando la fibra de bambú con los atributos antes definidos y que se pueden resumir genéricamente para su entendimiento de la siguiente manera:

FBSNSCST: Fibra de Bambú Sin Nudo, Sin Corteza y Sin Tratamiento.

FBSNSCCT: Fibra de Bambú Sin Nudo, Sin Corteza y Con Tratamiento.

FBCNSCST: Fibra de Bambú Con Nudo, Sin Corteza y Sin Tratamiento.

FBCNSCCT: Fibra de Bambú Con Nudo, Sin Corteza y Con Tratamiento.

FBSNCCST: Fibra de Bambú Sin Nudo, Con Corteza y Sin Tratamiento.

FBCNCCST: Fibra de Bambú Con Nudo, Con Corteza y Sin Tratamiento.

El estudio de caracterización estadística de las variables de respuesta para el grupo de probeta se muestra a modo de resumen en la Tabla 1.

3. Results of the mechanical characterization of the bambusa vulgaris fiber

The objective of the first stage of research is to find out if there are significant differences concerning the behavior of the properties of bamboo as a material, if you take samples of the different parts of the plant. In each case specimens from the cortex and the inner fiber were prepared. In each one, samples were taken from the section with and without knots. Samples with and without treatment were taken from the section of the inner fiber.

The research is planned considering the bamboo fiber with the features described earlier; for a better understanding they can be summed up generically as follows:

BFw/oKw/oCw/oT: Bamboo Fiber without Knot, without Cortex, without Treatment

BFw/oKw/oCwT: Bamboo Fiber without Knot, without Cortex, with Treatment

BFwKw/oCw/oT: Bamboo Fiber with Knot, without Cortex, without Treatment

BFwKw/oCwT: Bamboo Fiber with Knot, without Cortex, with Treatment

BFw/oKwCw/oT: Bamboo Fiber without Knot, with Cortex, without Treatment

BFwKwCw/oT: Bamboo Fiber with Knot, with Cortex, without Treatment

Table 1 summarizes the study of statistical characterization of the response variables for the specimen group.

Tabla 1. Resultados de los experimentos para las propiedades estudiadas
Table 1. Results of experiments for the studied properties

FBSNSCST	FBSNSCCT	FBCNSCST	FBCNSCCT	FBSNCCST	FBCNCCST
Límite de Rotura (MPa)					
221.08	137.06	130.42	78.39	151.9	118.7
222.16	137.2	133.68	80.1	147.07	123.76
217.19	137.89	134.33	78.81	150,21	116.23
223.2	137.78	135.05	80.85	147.62	118.61
222.76	137.3	133.36	84.77	149.55	120.14
221.278	137.446	133.368	80.584	149.27	119.488
Coefficiente de Poisson					
0.36	0.37	0.48	0.42	0.41	0.45
0.37	0.36	0.45	0.43	0.42	0.43
0.38	0.36	0.51	0.41	0.43	0.42
0.37	0.37	0.46	0.43	0.42	0.41
0.36	0.37	0.48	0.41	0.41	0.43
0.371	0.367	0.464	0.406	0.424	0.43
Modulo de Elasticidad (MPa)					
276667.6	185714.2	170833.5	126666.6	235384.6	174358.9
314285.7	189473.6	176296.2	129032.2	236666.6	175438.5
271428.5	190000	167692.3	129166.6	230714.2	176842.1
304375.2	188563.7	171666.6	127777.7	238461.5	177777.7
285365.1	186493.4	174586.5	126666.6	241666.6	174285.7
290424.48	188049.0	172215.0	127862.0	236578.7	175740.6

De manera gráfica estos resultados para cada una de las propiedades se muestran en las figuras 3, 4 y 5.

The results for each property are shown in in Figures 3, 4 and 5.

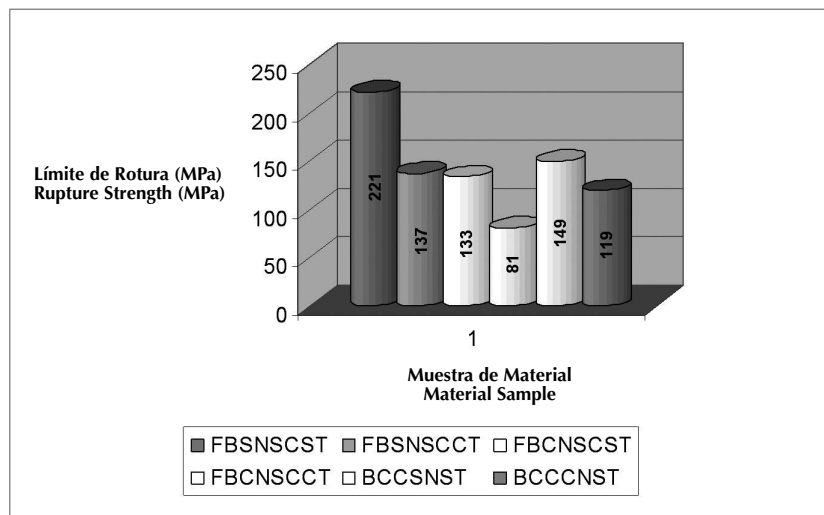


Figura 3. Comportamiento del Límite de Rotura
Figure 3. Behavior of the rupture strength

Como se puede observar los mayores valores del límite de rotura se alcanzan en el caso en que la fibra no está sometida a tratamiento y en cuya sección no presenta nudos. Para el caso de la corteza superior de la caña de bambú (cáscara) se tiene un comportamiento similar, es decir la sección sin nudo presenta resistencia superior a la sección con nudo. El mayor valor lo presenta la fibra sin nudo y sin tratamiento. El menor valor lo posee la fibra con nudo y con tratamiento.

As it can be observed, the highest values of the rupture strength are reached in the case of the fiber not subjected to treatment and in the section without knots. A similar behavior is observed for the case of the upper cortex of the bamboo cane (outer surface), that is, the section without knot presents a higher strength than the section with knots. The highest value is obtained by the fiber without knot and without treatment. The fiber with knot and with treatment shows the lowest value.

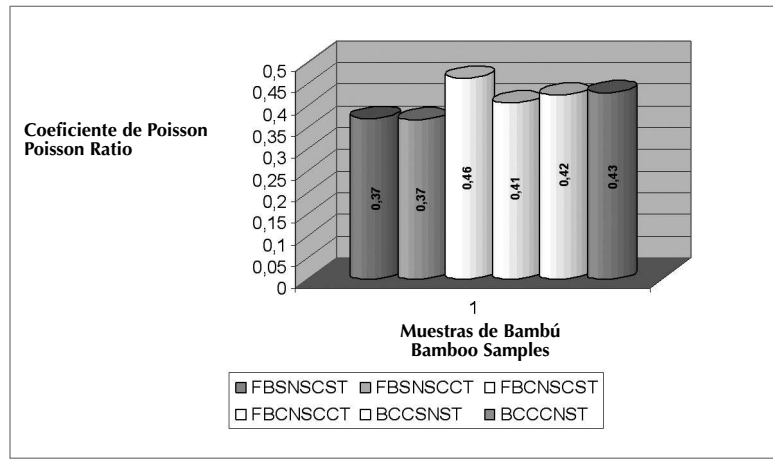


Figura 4. Comportamiento del Coeficiente de Poisson
Figure 4. Behavior of the poisson ratio

En este caso se tiene que las variaciones del coeficiente de Poisson entre las muestras objeto de estudio no son significativas, variando en un intervalo de 0.37-0.46 lo cual coincide con lo reportado en la literatura especializada que refiere variaciones de este coeficiente para diferentes tipos de madera en el orden de 0.41-0.58.

Here, the variations of the Poisson ratio among the samples being studied are not significant. They range from 0.37-0.46, which coincides with the data reported on the specialized literature that establishes this ratio in different types of woods between 0.41-0.58.

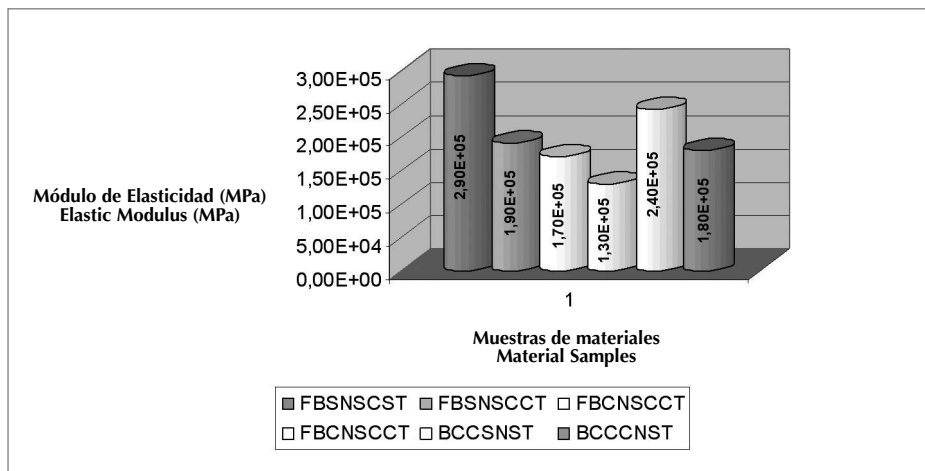


Figura 5. Comportamiento del Módulo de Elasticidad
Figure 5. Behavior of the elastic modulus

Tal como se conoce el Módulo de Elasticidad de un material es dependiente del límite de rotura y las deformaciones longitudinales unitarias del mismo bajo el efecto de tracción, es por ello que este tiene un comportamiento similar al del límite de rotura en el caso de las características de las fibras de bambú estudiadas. Obsérvese que la fibra sin nudo y sin tratamiento poseen los mayores valores, la presencia de nudo en la sección de la probeta así como el tratamiento de la fibra con tabaquina disuelta en agua a temperatura de ebullición provocan una disminución de las propiedades del módulo de elasticidad.

4. Estudio del comportamiento de pérdida de humedad y reducción del espesor de las esteras tejidas de bambú

En esta etapa se realiza un estudio que permite evaluar la pérdida de humedad y la reducción del espesor de las esteras tejidas de bambú, para valorar la compacidad del tejido y determinar la influencia y su respuesta frente a parámetros tecnológicos que determinan el proceso de confección del tablero, como la presión, la temperatura y el tiempo de prensado.

El tejido a ensayar coincide con el utilizado en BMB®, IPIRTI (2009), y por Mora et al. (2008). A diferencia de los trabajos citados anteriormente, las esteras para este estudio son tejidas, prensadas y sometidas a la variación de parámetros tecnológicos sin el empleo de adhesivos, para considerar solo estos efectos en el bambú, utilizando en el mismo esteras tejidas de dimensiones de 200 x 200 x espesor (en mm), las que son sometidas en el equipo de prensado con platos calientes (Figura 6)

At present, the Elastic Modulus is the rupture strength of a material and its unitary longitudinal deformations under the effect of tension. Therefore, it has a similar rupture strength behavior in relation to the characteristics of the bamboo fibers concerned. Note that the fiber without knot and without treatment obtained the highest values; the presence of knots in the specimens section and the fiber treatment with tabaquina dissolved in water at boiling temperature, cause a reduction in the properties of the elastic modulus.

4. Study of the Behavior of Moisture Loss and Thickness Reduction of the Bamboo Mat Boards

At this stage, a study is undertaken to evaluate the moisture loss and thickness reduction of the bamboo mat boards, in order to consider the weave compactness, and to assess the influence and its response to technological parameters that determine the manufacturing process of the mat board, such as pressure, temperature and pressing time.

The tested weave coincides with the one used at BMB®, IPIRTI (2009), and by Mora et al. (2008). Unlike articles mentioned earlier, mat boards for this study are woven, pressed and exposed to technological parameters variations without employing adhesives. The idea is to consider only these effects on bamboo, using woven mat boards, with dimensions of 200 x 200 x thickness (mm), put into the hot-plate pressing machine (Figure 6).

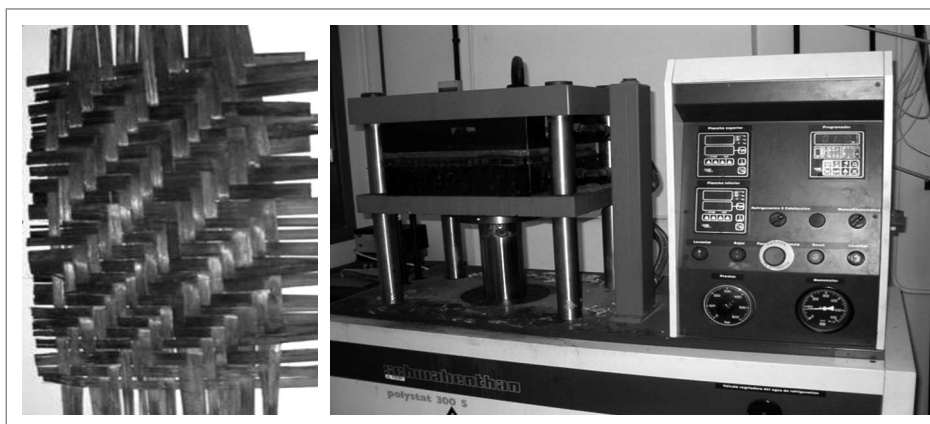


Figura 6. Estera tejida y prensa de platos calientes
Figure 6. Woven mat board and hot-plate press

Tomando en cuenta los requerimientos anteriores, se utiliza un diseño Factorial de Superficie de respuesta del tipo $N = 2^3$. Como variables a estudiar se tomaron: X_1 -Temperatura, X_2 -Presión y X_3 -Tiempo. La matriz de los experimento para este caso se muestra en la tabla 2.

Considering the previous requirements, we used a Factorial and Response Surface Design type $N = 2^3$. The studied variables were: X_1 -Temperature, X_2 -Pressure and X_3 -Time. Table 2 shows the experiment matrix for this case.

Tabla 2. Matriz de los experimentos para diseño $N = 2^k$
Table 2. Experiment matrix for design $N = 2^k$

N	X_1 =Temp. (°C)	X_2 =Presión (atm) X_2 =Pressure (atm)	X_3 =Tiempo (min) X_3 =Time (min)
1	-1 (80)	-1 (25)	-1 (5)
2	1 (120)	-1 (25)	-1 (5)
3	-1 (80)	1 (100)	-1 (5)
4	1 (120)	1 (100)	-1 (5)
5	-1 (80)	-1 (25)	1 (20)
6	1 (120)	-1 (25)	1 (20)
7	-1 (80)	1 (100)	1 (20)
8	1 (120)	1 (100)	1 (20)

El procesamiento de los resultados experimentales se realiza a través del paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS Versión 5.1, 2006.

A manera de síntesis los resultados se muestran en la Tabla 3.

Processing of the experimental results is done by means of the statistical package STATGRAPHICS PLUS Version 5.1, 2006.

Table 3 shows the results synthetically.

Tabla 3. Resultado experimental para porcentaje de pérdida de humedad y espesor de la fibra
Table 3. Experimental results for moisture loss rate and fiber thickness

Temperatura-Temperature(°C)/ Presión-Pressure (atm)/ Tiempo-Time (min)	Humedad-Moisture (%)	Espesor-Thickness (mm)
80 / 25 / 5	1.159	2.975
120 / 25 / 5	1.932	2.649
80 / 100 / 5	1.070	2.627
120 / 100 / 5	3.643	2.364
80 / 25 / 20	1.131	2.606
120 / 25 / 20	4.129	2.888
80 / 100 / 20	1.191	2.683
120 / 100 / 20	6.415	2.714

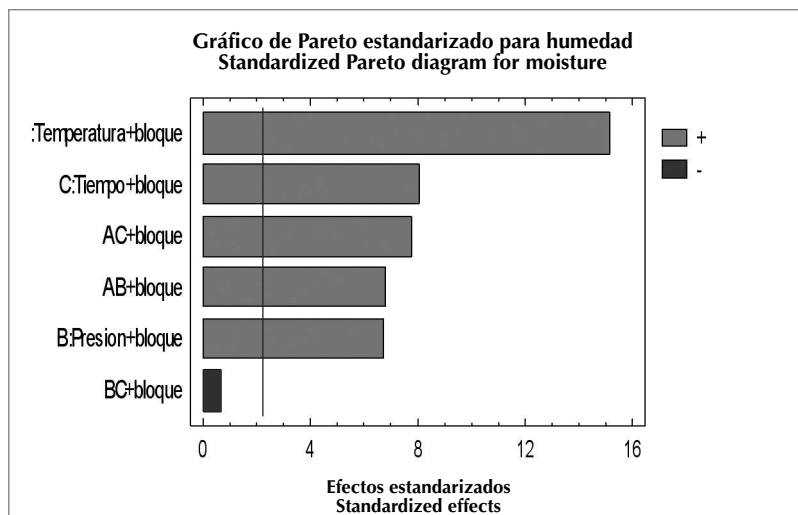


Figura 7. Análisis de Pareto para la humedad
Figure 7. Pareto analysis for moisture

El diagrama de Pareto (Figura 7) muestra que tanto el tiempo, como la presión y la temperatura tienen influencia sobre el porcentaje de pérdida de humedad de la muestra. La mayor influencia la tiene la temperatura, que indica que en la medida en que esta se incrementa, el porcentaje de pérdida de humedad es mayor. En orden de influencia le sigue el tiempo y después la interacción temperatura-tiempo. Según el análisis de los resultados la mayor extracción o pérdida de humedad se alcanza para condiciones de máxima temperatura, máxima presión y máximo tiempo. Según el análisis de los resultados, la mayor extracción de humedad se alcanza para condiciones de máxima temperatura, máxima presión y máximo tiempo.

Analizando los resultados mostrados en la Figura 8 se tiene que tanto la temperatura como el tiempo provocan un incremento del por ciento de pérdida de humedad, siendo más marcada la influencia de la temperatura. Para cualquier valor de tiempo un incremento de la temperatura trae consigo un incremento brusco de la extracción de humedad.

The Pareto diagram (Figure 7) shows that time as much as pressure and temperature have an influence upon the moisture loss rate of the sample. Temperature exhibits the greatest influence, showing that while it increases, the moisture loss rate is greater. The influence of time follows, followed by temperature-time interaction. According to the results analysis, the greatest moisture loss is attained by conditions of maximum temperature, maximum pressure and maximum time.

Through the analysis of the results shown in Figure 8, both temperature and time cause an increase in the moisture loss rate; temperature bears the most significant effect upon it. For any time value, a temperature increase brings along a sudden increase in the moisture loss.

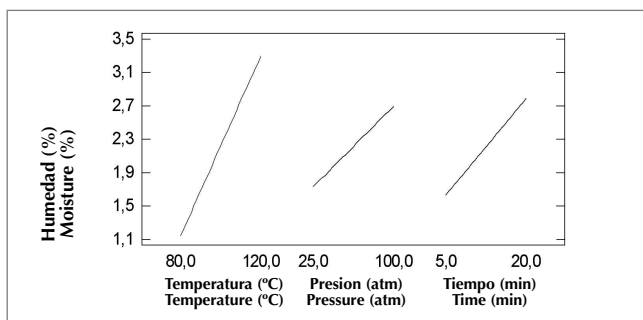


Figura 8. Porcentaje de humedad en dependencia de la temperatura y el tiempo
Figure 8. Moisture rate in relation to temperature, pressure, and time

El gráfico de isolíneas (figura 9) resulta un nomograma de gran utilidad para incidir del mejor modo con criterios eficientes y/o económicos en el proceso de pérdida de humedad.

The iso-line graph (Figure 9) shows a nomogram that is highly effective to influence in the best manner, with efficient and/or economical criteria, on the moisture loss process.

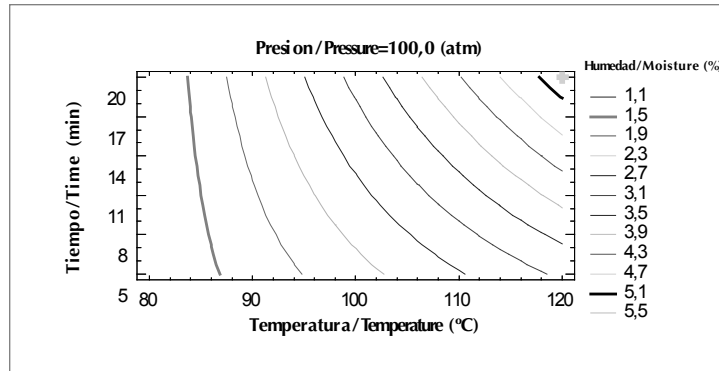


Figura 9. Gráfico de las isolíneas para el porcentaje de humedad en dependencia de la temperatura y el tiempo con presión constante

Figure 9. Iso-line graph for the moisture rate in relation to temperature and time with constant pressure

El mismo permite elegir las diferentes combinaciones de temperatura y tiempo necesarias para lograr el mayor por ciento de pérdida de humedad. Desde el punto de vista económico la tendencia deberá ser la de disminuir lo máximo posible el tiempo, pues durante el proceso de tratamiento a la fibra la mayor influencia sobre los gastos de portadores energéticos va a estar condicionado al tiempo de exposición de la muestra en la prensa.

This graph allows selecting the different combinations of temperature and time that are necessary to achieve the highest moisture loss rate. In terms of economy, the tendency shall be to decrease as much as possible the time factor, because during the fiber treatment process, the greatest influence on the expenses of energetic carriers will be conditioned by the sample exposure time in the press.

Tal como se muestra en la Figura 10 se tiene que tanto la temperatura, como la presión y el tiempo tienden a incrementar el porcentaje de extracción de humedad, siendo la temperatura el de mayor influencia, obsérvese que para la misma el porcentaje de extracción de humedad varía de 1.1 a 3.4. Para el caso de la presión de 1.6 a 2.5 y el tiempo 1.6 a 2.8.

As shown in Figure 10, temperature as much as pressure and time tend to increase the moisture loss rate, being temperature the greatest influence. Note that, moisture loss rate varies from 1.1 to 3.4, from 1.6 to 2.5, and from 1.6 to 2.8, for temperature, pressure, and time, respectively.

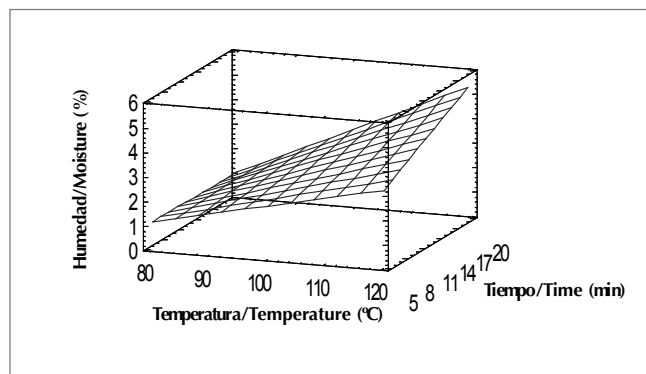


Figura 10. Efectos de la temperatura, la presión y el tiempo en la pérdida de humedad

Figure 10. Effects of temperature, pressure and time on moisture loss

Otro de los objetivos del estudio realizado es conocer como influye la temperatura, la presión y el tiempo sobre la variación del espesor de las esteras de bambú.

Sobre el espesor influyen de manera significativa e independientes tanto el tiempo, como la presión, Figura 10. Se evidencia que lo que más influye sobre la disminución del espesor es la interacción de la presión con la temperatura. Lo anterior coincide con lo reportado por la literatura que plantea que un incremento de la temperatura trae consigo una ruptura de la estructura química de las fibras de bambú. La temperatura por si sola no tiene influencia significativa sobre la variación del espesor.

Another objective of the study was to find out how temperature, pressure and time influence on the thickness variation of the bamboo mat boards.

Time, as much as pressure, influence significantly and independently on thickness (Figure 10). Evidence is shown that what influences most on thickness reduction is the interaction of pressure and temperature. The former coincides with the information available in the literature which sets forth that an increase in temperature brings along a rupture of the chemical structure of bamboo fibers. Temperature by itself does not have a significant influence on the thickness variation.

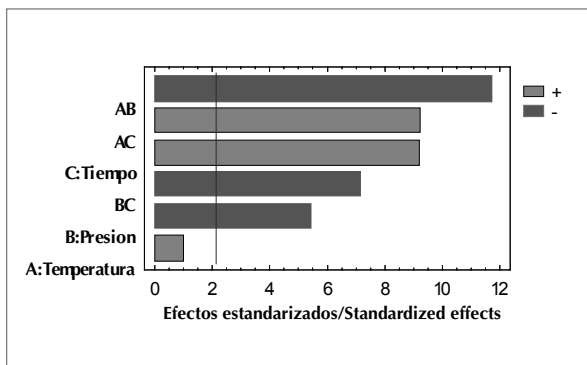


Figura 11. Análisis de Pareto para el espesor de las muestras
Figure 11. Pareto analysis for sample thickness

De la Figura 11 se puede concluir que con el incremento de la temperatura ocurre muy poca variación del espesor de las esteras de bambú y su tendencia determina un ligero incremento por dilatación. El efecto del tiempo es similar al de la temperatura pero con un efecto de mayor intensidad que este, obsérvese que la pendiente de comportamiento es muy superior. Un efecto totalmente contrario lo presenta la presión que al incrementar su valor, trae consigo una disminución significativa del espesor.

From Figure 11 it can be concluded that with temperature increase there is little variation of the bamboo mat boards thickness, and such tendency determines a slight increase due to expansion. The effect of time is similar to that of temperature, but with a greater intensity; note that the slope is significantly higher. Pressure exhibits a completely contrary effect, because when you increase its value, thickness decreases significantly.

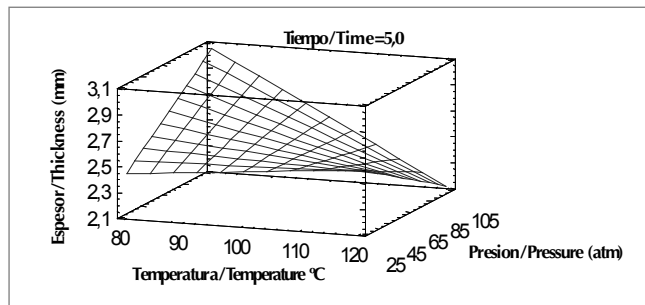


Figura 12. Efectos de la temperatura, presión y el tiempo en el espesor
Figure 12. Effects of temperature, pressure, and time on thickness

Desde el punto de vista práctico esto resulta de gran interés pues permite definir a partir de que valores de presión se logra uniformidad y homogeneidad en la conformación de la estera de bambú y por ende de tableros de diferentes espesores.

Si se analizan los resultados mostrados en la Figura 12 se puede tener una idea más clara del efecto de la presión y la temperatura sobre el espesor. Es bueno recordar que desde el punto de vista tecnológico y de aplicación de la fibra de bambú, dos aspectos fundamentales a considerar son: la disminución del espesor de la fibra y la uniformidad de la misma. Obsérvese que para el valor más bajo de temperatura (80°C) un incremento de la presión trae consigo un incremento del espesor. En la medida que se incrementa la temperatura y con ello la presión el efecto cambia y comienza a tener lugar una disminución paulatina del espesor. De igual manera se puede observar que una disminución continua del espesor se logra para temperaturas superiores a los 120°C. Este comportamiento resulta lógico por cuanto a esta temperatura ya se ha logrado una disminución casi total de la humedad de la fibra.

From a practical point of view, this is very interesting, as it allows to define minimum pressure values to achieve uniformity and homogeneity in the structure of bamboo mat board and, accordingly, of mat boards from different thickness.

Figure 12 illustrates the effect of pressure and temperature on thickness. It should be kept in mind that, in terms of technology and application of the bamboo fiber, two fundamental aspects are to be considered: thickness reduction and uniformity of the fiber. Note that for the lowest temperature value (80°C), a pressure increase results in a thickness increase. While increasing the temperature, and hence the pressure, the effect changes and a gradual thickness reduction starts to take place. In the same way, you may observe that a persistent thickness reduction is achieved with temperatures greater than 120°C. This behavior seems logical, because at this temperature an almost complete loss of moisture from the fiber, has been obtained.

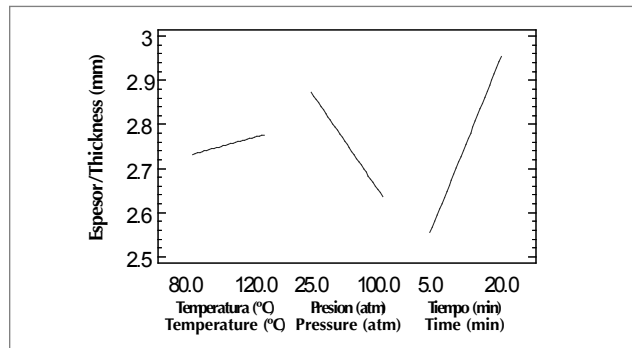


Figura 13. Efecto de presión y temperatura sobre el espesor de esteras
Figure 13. Effect of pressure and temperature on mat board thickness

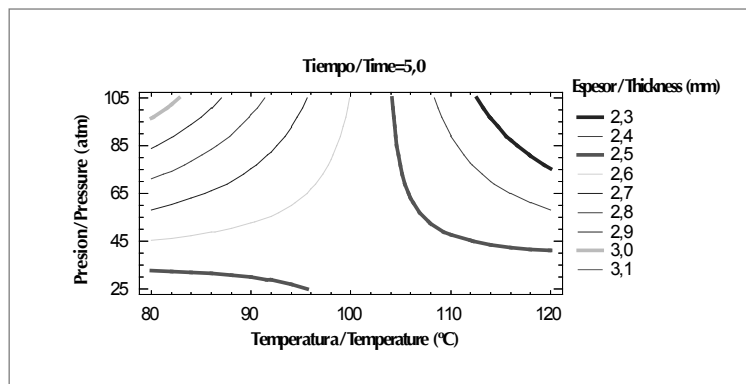


Figura 14. Gráfico de isolíneas para el espesor en dependencia de la temperatura y el tiempo
Figure 14. Iso-line graph for thickness in relation to temperature and time

El diagrama de las isolíneas para el espesor (Figura 14) permite elegir las diferentes combinaciones de temperatura y presión en dependencia del espesor que se desea lograr para una determinada aplicación. Por ejemplo si se desea obtener un espesor mínimo de 2.3 mm (línea azul gruesa), este solo se puede lograr si se varía la temperatura en un intervalo de 113 a 120°C y presiones entre 75 y 100 atmósferas.

5. Conclusiones

1. De la determinación experimental del comportamiento de las propiedades mecánicas de las fibras de Bambusa Vulgaris según se establece en el trabajo, se concluye que la resistencia a la rotura varía en el intervalo de 80.6 a 221.3 MPa. El módulo de Elasticidad varía de 1.30×10^5 a 2.9×10^5 MPa, y el coeficiente de Poisson en el orden de 0.37 a 0.46. Estos valores coinciden con los reportados por la bibliografía especializada y trabajos realizados por otros autores para otros tipos de bambú.
2. La temperatura, la presión y el tiempo tienen una marcada influencia sobre el porcentaje de pérdida de humedad, siendo la temperatura la que muestra mayor influencia positiva en el porcentaje de extracción de humedad.
3. La presión y la temperatura influyen directamente sobre el espesor de la estera de bambú. Sobre este parámetro la mayor influencia la presenta la interacción presión temperatura.
4. Se demuestra que se puede lograr una uniformidad y homogeneidad en el espesor del tablero con tejido de las fibras a partir de evaluar la influencia de parámetros tecnológicos como la presión y la temperatura.

The iso-line diagram for thickness (Figure 14) allows selecting the different temperature and pressure combinations in relation to the thickness required for a specific application. For example, if a minimum thickness of 2.3 mm (thick blue line) is needed, this can only be achieved if temperature is varied in an interval of 113 to 120°C and with pressures between 75 and 100 atmospheres.

5. Conclusions

1. From the experimental determination of the behavior of the mechanical properties of Bambusa Vulgaris fibers, according to the findings of this study, it is concluded that rupture strength varies in the interval of 80.6 to 221.3 MPa. The elastic modulus varies from 13 to 29 GPa, and Poisson ratio from 0.37 to 0.46. These values agree with those reported in the specialized bibliography and in works done by other authors for other types of bamboo.
2. Temperature, pressure, and time have a pronounced effect on the moisture loss rate, being temperature the one that shows the greatest positive influence on the moisture loss rate.
3. Pressure and temperature have a direct influence on the thickness of the bamboo mat board. In relation to this parameter, the greatest influence is shown by the pressure-temperature interaction.
4. It is demonstrated that it is possible to achieve uniformity and homogeneity in the thickness of the mat board woven with fibers, if you start by evaluating the influence of technological parameters such as pressure and temperature.

6. Referencias / References

- Alcides L. Leao. (1998), Applications of natural fibers in automotive industry in Brazil- thermoforming process. Science and Technology of Polymers and Advanced Materials Emerging Technologies and Business Opportunities.
- Arencan D. y Velasco J.I. (2002), J. Thermoplast Comp. Mater. 15:317-36.
- Bledzki A.K., Sabe D. N. y Gassan J. (1999), Progress in Polymer Science. 24:221-74.
- Dingle L.D. (1974), Journal of Materials Science. 5. 357-363.
- Eichhorn S.J. (2003), Composites Science and Technology. 63:1225-1230.
- IPIRTI (2009), (Indian Plywood Industries Research & Training Institute). Consultado Abril de Disponible en <http://www.bamboocomposites.com>.
- Ishida H. y Koenig J.L. (1980), Proceedings of the 35th SPI/RP. Annual Technology Conference. Society of Plastics Industry. Nueva York.
- Janssen J. (1991), Mechanical properties of bamboo. Amsterdam: Kluwer Academic.
- Koslowski H.J. (2000), Dictionary of man-made fibers. Special edition 2000. Sachtleben Chemie GmGH.

- Lee S.M. y Joun J.R. (1999), Characterization of short glass fiber filled polystyrene by fiber orientation and mechanical properties. *Macromol. Symp.* 148:211-28.
- Mora L., Hernández J.F., Martirena J.F. y Jiménez S. (2008), El tablero de bambú prensado, una nueva propuesta tecnológica. *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol 23 N° 3.
- Nielsen L.E. y Landel R.F. (1994), *Mechanical properties of polymers and composites*. 2 Ed. Marcel Dekker, Nueva York.
- Saha A., Das S., Bhatta D., Mitra B.C. (1999), *J Appl Polymer Sci.* 71:1505-13.
- Shen W. y Parker I.H. (2001), *Journal of colloid and Interface Science.* 240. 172-181.
- Valero S., Reyes E. y Contreras W. (2005), Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Bambú (*Bambusa Vulgaris*), de Tres Años de Edad y Proveniente de las Plantaciones Ubicadas en la Ribera de la Margen Derecha del Río Chama, Municipio Francisco Javier Pulgar, Estado
- Zulia (2009), Venezuela. Informe técnico N° 37. Consultado Marzo. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24096/2/articulo5.pdf>
- Van Voorn B., Smit H.H.G., Sinke R.J., de Klerk B. (2001), Natural fibre reinforced sheet moulding compound. *Composites: Part A* 32:1271-9.
- Villetti M.A., Crespo J.S., Soldi M.S., Pires A.T.N., Borsali R. y Soldi V. (2002), *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 67. 295-303.