DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE BAMBU PARA APLICACIONES AERONAUTICAS

*María P. Lucena, Alejandro Suarez, Ivonne Zamudio**

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (3): 1107-1114

DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE BAMBU PARA APLICACIONES AERONAUTICAS

*María P. Lucena, Alejandro Suarez, Ivonne Zamudio**

Ingeniería Aeronáutica, facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura. Bogotá, Colombia

** E-mail: chernandez@usb.ve*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008

Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

Actualmente la industria busca materiales compuestos con mayores ventajas que nos lleven a reemplazar materiales tales como el metal o fibras de refuerzo que son dañinas para el medio ambiente. Los materiales hoy en día utilizados son reforzados con fibras de carbono, vidrio o aramidas. Estos productos generan problemas ambientales, de almacenamiento, combustibilidad parcial, son una fuente de polución al degradarse, etc. Por medio de este proyecto se busca el desarrollo de un material compuesto reforzado con fibras de bambú con una matriz polimérica con inocuidad química y que proporcione un material con menor peso, costo e impacto sobre el medio ambiente. Se a estudiado que el bambú es una de las plantas con mayor resistencia mecánica por esta razón al extraer la fibra del bambú y emplearla como refuerzo lograremos un material capaz de soportar la misma carga que soporta materiales como el aluminio.

***Palabras clave**: fibras de bambú, inocuidad, material compuesto, cargas*

Abstract

Today's industries seek for composites materials that lead to replace metals and reinforcements mineral fibers that damage our ecosystem. Composites used are mostly reinforced with glass, carbon or aramid fibers. These products generate pollution, partial combustion, stocking, high prices, and toxic gases problems. Therefore we are developing a composite material reinforced with natural fibers with low price, low weight and small impact for environment. Bamboo is one the plants that have the best mechanical resistance. Its fibers are going to be used as a woven reinforcement to create a material that can support the same load than materials such as aluminum does.

***Key word:** Bamboo fibers, loads, composites*

1. INTRODUCCION

Los materiales compuestos son basados en la unión de una matriz con un material de refuerzo que suele ser un tipo de fibra o un polvo. Las fibras reciben la tensión a la que se somete el material y debido a su gran modulo de elasticidad se adquieren unas propiedades mecánicas únicas. Los materiales hoy en día usados, como los compuestos de fibra de vidrio, de carbono y el Kevlar brindan a la industria propiedades mecánicas excepcionales pero todos esos aspectos favorables durante el período de uso operan en contra al momento de su degradación. Por esta razón es necesario sustituir el tipo de fibra y matrices que se han venido usando hasta el momento. Para esto desarrollaremos un material a base de fibras de bambú con un polímero inocuo al medio ambiente. Las fibras vegetales con celulosa que utilizaremos son un recurso renovable y disponible mundialmente, son biodegradables, no generan gases tóxicos ni dejan residuo sólidos en combustión, su peso es aproximadamente un tercio de la fibras de vidrio, no producen abrasión en las máquinas de procesamiento, presentan un módulo muy alto de elasticidad y también soportan las temperaturas del procesamiento del polipropileno [1]. Además cuando se compara con una lámina de metal normal, los materiales compuestos de fibras naturales son menos sensibles a las vibraciones, los costos de ensamblaje son menores, se reduce el peso, el costo es menor, y además se puede lograr una superficie mas lisa. También el proceso de producción es menos toxico para los operarios ya que la fibra no se volatiliza.

0255-6952 ©2009 Universidad Simón Bolívar (Venezuela)

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Selección del material de refuerzo

Elegimos el bambú como agente de refuerzo ya que este presenta características únicas para el uso requerido. El bambú es una gramínea leñosa de porte arbóreo de la que existen 1250 especies agrupadas en 75 géneros. El bambú es la planta de crecimiento más rápido del planeta. Crece aproximadamente de 75 a 400 mm por día. El tallo del bambú, que es la parte de la planta más importante desde el punto de vista económico, alcanza más de 40 m en algunas especies en tres o cuatro meses [2]. Se estima que en 35 años una planta de bambú puede producir hasta 15 km de postes aprovechables. Su ligereza y altos módulos de elasticidad (de 9 000 a 10100 N/mm^2) y rotura (84 a 126 N/mm^2) convierten al bambú en un material ideal para la construcción. La resistencia del bambú a la tracción es mayor que la del acero. Se han documentado más de 1500 usos de esta planta, desde la leña a las lámparas, desde la medicina al veneno y desde los juguetes a la aviación. Más de 1 000 millones de personas viven en casas de bambú o que utilizan el bambú como principal elemento para la estructura, el revestimiento exterior o la techumbre [2].

Se vienen realizando varios estudios sobre el uso del bambú como refuerzo en Colombia pero los resultados no han sido los esperados. La conclusión generada es que el diámetro de las fibras no permitía la absorción correcta de la resina. Esto generaría burbujas en el laminado y de laminaciones o fracturas internas en un futuro [3]. Por esta razón nos hemos detenido principalmente en la escogencia de la fibra y en el proceso de producción de esta. Un proceso manual generaría cortes a los haces de fibra durante la extracción. Por lo tanto la fibra obtenida para el proyecto es netamente procesada sin ningún tipo de manipulación manual ni química y los procesos de extracción e hilado están regidos por normas ISO 9000 e ISO14000.

Esta fibra celulosa se desarrolla por un medio tecnológico en la provincia de Yunnan y Sicuan en China. Los tallos de bambú utilizados son de aproximadamente de 2 a 3 años de edad. Esta fibra es 100% biodegradable en la tierra por microorganismos y por el sol. La descomposición no genera ningún tipo de polución y en compañía de otros productos se degrada aislando los componentes. Esta fibra de bambú viene de la naturaleza y vuelve completamente a la naturaleza.

Para su producción se utiliza solamente la pulpa útil de los tallos. Las fibras se encuentran en los internodos rodeando a los haces vasculares y conforman entre el 40 y 50 % del tejido total y entre el 60 y 70 % del peso total del culmo [2]. Primero la pulpa del bambú se refina por un proceso de hidrólisis-alquinizacion y una fase múltiple de blanqueado natural. Después esta pula es introducida a un horno autoclave a un a presión especifica para luego filtrarla, hilarla secarla y empacarla. Varias pruebas han demostrado que esta fibra presenta una larga duración, es muy estable y presenta gran tenacidad. Esta fibra es validada por la Asociación de textiles de Japón. También testa fibra presenta una función antibacterial lo que nos presenta que un 70% de las bacterias mueren después de que se incuban en la fibra [4]. Esto es debido a que el bambú contiene una un agente que produce la bacteriostasis llamado el bambú kun. Esta sustancia combinado con la celulosa produce este fenómeno que no causa ninguna alergia a los seres humanos. La fibra puede ser hilada pura o con otro tipo de materiales. El proceso de hilado compacto se hace para reducir el número de vellosidades en la fibra. Al momento que se compacta la fibra se mejora la tenacidad en un 10%-15% y se estandariza y disminuye el calibre de la fibra. [4].

Ya que esta fibra presenta un porcentaje de humedad bastante altos, 11,72 %, como vemos en la tabla 1 es necesario hacerle un proceso de lavado y secado. El lavado debe realizarse con un jabón alcalino no mayor a 20g/litro y el secado no debe superar los 100°. Ya que la sección trasversal de la fibra tiene varios micro agujeros la adhesión y absorción de la resina es bastante alta. En la figura 1 podemos ver la presentación de la fibra sin tejer y en la figura 2 podemos ver una fibra hilada de tres haces.



Figura 1. Fibra de Bambú



Figura 2. Fibra única hilada de bambú

En esta figura 3 podemos observar el tejido utilizado para realizar las probetas. La urdimbre esta horizontal y la trama vertical.



Figura 3. Tejido de Bambú 100%

Tabla 1. Parámetros físicos de la fibra de Bambú

Propiedad	Fibra de bambú
Densidad lineal (dtex)	1.67
Fibra única seca a tensión(cN/dtex)	2.2-2.5
Fibra única húmeda a tensión(cN/dtex)	1.3-1.7
Porcentaje de elongación%	14-18
Moisture Regain %	13
Rata de Absorción%	90-120
Densidad especifica(g/cc)	1.32
Doble largo (mg/100g	1.2
Resistencia especifica cc/Ωg	1.09*10*8
humedad	11.33
Tenacidad (Cn Tex)	13.4
vellosidad	4.25
Rata antibacterial	>99.8%

2.2 Selección de la resina

La resina seleccionada para hacer las primeras pruebas es una resina de epoxi vinilester A430, de reactividad y viscosidad media, disuelta en estireno por BASF chile. Esta resina es apropiada para la fabricación de piezas reforzadas con altas propiedades mecánicas, se ha comprobado que las piezas desarrolladas con estas resinas tienen baja susceptibilidad a la fractura por tensión, presentan excelente resistencia a medios alcalinos, alta resistencia térmica y resistencia a grandes cargas mecánicas dinámicas [5]. Además la resina palatal A430 es aprobada por la agencia federal de aviación Alemana, para la fabricación de piezas. Es por está razón que esta resina a sido elegida como material de matriz para el desarrollo de este proyecto ya que cumple con las expectativas de generar un material con aplicaciones en la industria aeronáutica. Esta resina es miscible con estireno pero no se debe adicional más del 10% para evitar disminuir as propiedades físicas del producto final. También se requiere acelerar la resina con cobalto para el endurecimiento a temperatura ambiente. Para el curado se utilizara peróxido de metiletilcetona con bajo contenido de peróxido de hidrógeno (MEKP-HD-1, Laporte Chemicals; Butanox LPT, Akzo Chemicals).

La resina que usaremos para los ensayos fue escogida para lograr resultados comparativos con fibras hoy en día usadas con esta resina. Mas adelante se harán pruebas con resinas que afecten menos el medio ambiente y tengan una inocuidad química positiva.

2.3 Probetas

El diseño y análisis de estructuras en materiales compuestos requiere datos experimentales confiables. En el caso del análisis, la caracterización del material propuesto se realizara por medio de probetas que están regidas por estándares ASTM (American Society for Testing and Materials) para pruebas en materiales compuestos, estas pruebas tiene tres objetivos principales: determinar las propiedades básicas de laminas unidireccionales s para usarlas como parámetros iníciales al diseño estructural y análisis; investigación y verificación de predicciones analíticas del comportamiento mecánico; y estudio experimental independiente del material y

comportamiento estructural para geometrías con condiciones de carga especificas.

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de la resina epoxi vinilester Palatal A430.

Propiedad	Valor	Unidad	Método de ensayo
Aspecto	Claro	N/A	N/A
Color Pt-Co	≤ 4	N/A	N/A
Viscosidad brookfield	450	mPa.s	ISO 2555
Densidad a 20 ºC	1.06	g/ml	DIN 53217
Resistencia a la tracción	95	MPa	DIN 53455
Modulo de elasticidad en tracción	3600	MPa	DIN 53457
Elongación a la ruptura	6.1	%	DIN 53455
Resistencia a la flexión	150	MPa	DIN 53452
Modulo de elasticidad en flexión	3350	MPa	DIN 53457
Resistencia al impacto	28	Kj/m^2	DIN 53453
Temperatura de distorsión por calor	105 111	ºC ºC	DIN EN ISO 75 ASTM D648

Tabla 3. Porcentajes de materiales químicos a adicionar a la resina por cada 100 gr

Material	Cantidad de Void
Resina A430	100gr
Estireno	5gr
Cobalto	1ml
Mek	2ml

En las probetas se realizan pruebas de tensión las cuales están descritas en la norma ASTM D3039M-07[6], este método de ensayo determina las propiedades de tensión de un material compuesto de matriz polimétrica con refuerzo en fibras continuas o discontinuas en láminas balanceadas simétricamente con respecto a la dirección del ensayo. Para nuestro material se tienen las dimensiones y la forma establecidas en la Tabla. 4 y Figura 4

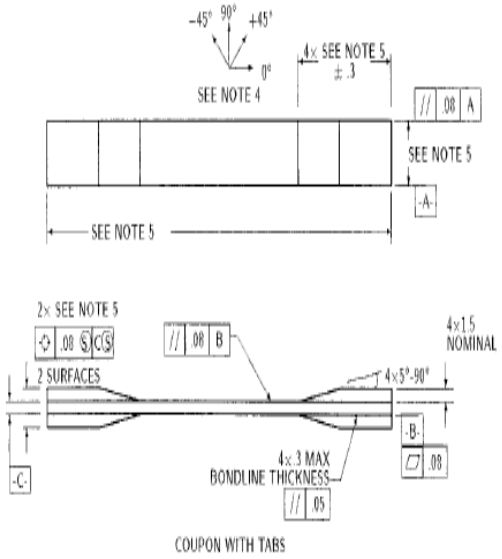


Figura 4. Forma y dimensiones de la probeta de tensión norma ASTM D3039M-07

Tabla 4. Dimensiones de la probeta para la configuración de probetas [0°/90°/0°/90°]

Orientacion de la fibra	ancho(mm)	largo(mm)	grosor(mm)
Balanced and symmetric	25	250	2.5

Las medidas expuestas en la tabla 4. se deben a que la distribución de pliegues en nuestro material es de [0°/90°/0°/90°].

Los siguientes ensayos son de compresión los cuales están establecidos en la norma ASTM D3410M-03[6], este método de ensayo determina las propiedades de compresión de un material compuesto de matriz polimétrica con refuerzo en fibras continuas o discontinuas. Esta es una de las pruebas más comúnmente usadas ahora, es aquella que emplea la fijación IITRI o sus modificaciones. El método hace uso de un espécimen de 14.1 cm de largo, 15 a 20 capas y 0.64 cm ancho (ver figura 5). El espécimen posee unas lengüetas las cuales recubren la mayoría de su área solo dejando una sección de medición de largo de 1.27cm. Las cargas son introducidas a través de corte (shear) por un frente trapezoidal. La fijación permite pre

comprensión de las pestañas del espécimen para prevenir que se salten las láminas en las primeras etapas de aplicación de cargas. La alineación lateral de la parte superior e inferior es asegurada por dos barras paralelas.

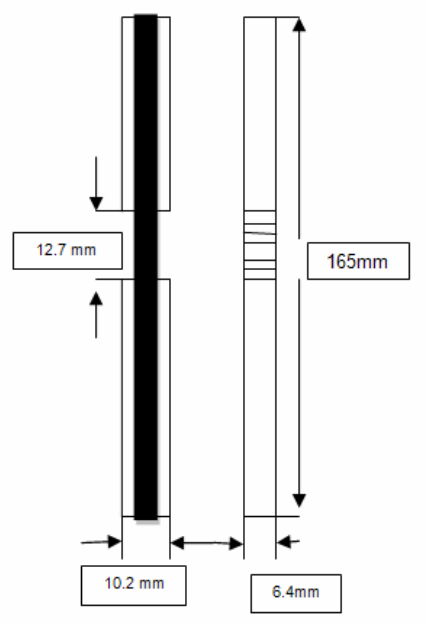


Figura 5 Dimensiones probeta de tensión Norma ASTM D3410M-03

Las pruebas de corte están establecidas en la ASTM D4255M-01[6] el cual establece 4 métodos para realizar el ensayo para nuestro caso utilizaremos una probeta de material compuesto rectangular (ver figura 6), que es tomada por dos rieles que son cargados en una dirección paralela a los bordes. El tercer riel de prueba es usado para atornillar la probeta. Una carga es aplicada en el riel de la mitad, generando una reacción opuesta en los otros dos rieles. Algunas veces un medidor de roseta es usado, con un elemento medidor adicional en la dirección "x" y "y", es usada para asegurar que el estado de esfuerzo en el centro del espécimen es cortante puro. Esta condición es mejor aproximada cuando el radio de aspecto de largo por ancho de l largo de la sección expuesta del espécimen es usualmente más grande que 8:1. Él estado de esfuerzo cerca del final no es cortante puro y las concentraciones de esfuerzo normal en los bordes pueden resultar en fallos prematuros.

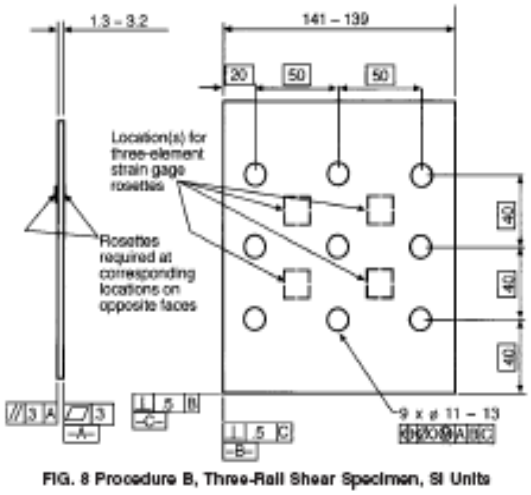


Figura 6. Dimensiones y forma de la probeta para cortante norma ASTM D4255M-01

2.4 Proceso de producción de las probetas

El proceso de producción para este material es un laminado con curado a temperatura ambiente. Se hará una impregnación de la resina manual y un prensado para el acabado del material.

Primero nos aseguramos que la fibra este totalmente libre de impurezas. Después las medimos y cortamos a la medida necesaria como vemos en la figura 7 y 8.



Figura 7. Medición de Fibras

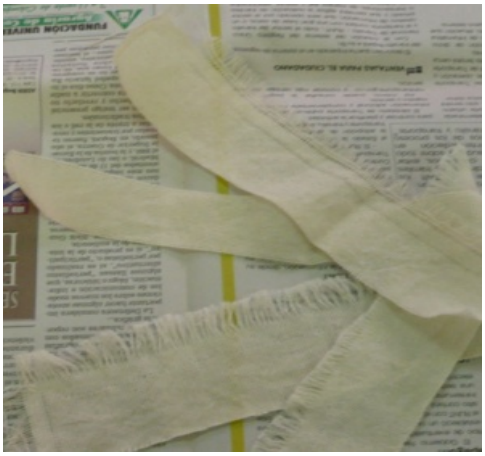


Figura 8. Capas de Bambú cortadas a 0° y 90°

Preparamos la superficie con cera desmoldante. Aplicamos una capa de resina preparada previamente como especifica la ficha técnica. Ponemos una capa de fibra a 0° he impregnamos con resina evitando los excesos como vemos en la figura 9. Las capas deben ser cortadas según la orientación deseada para así ir intercalando o superponiendo la capa en la dirección continua a la ya impregnada. Es de suma importancia la alineación entre las fibras de cada plano laminar ya que esto puede generar esfuerzos cortantes asiendo el material más anisotrópico [7]. Lo que buscamos es generar un material con un grado de anisotropía bajo y homogéneo. Recordemos que la resina es preparada de tal manera que el producto final quede 60%fibra-40%resina.



Figura 9. Impregnación de fibras

Después se colocan las capas de fibra y se repite el proceso de impregnación hasta lograr el grosor deseado. Entre capa y capa debemos arrodillar el tejido para extraer las burbujas y aumentar la absorción de la fibra como vemos en figura 10.



Figura 10. Extracción de burbujas y mejora de humectación de las fibras.

Por ultimo para mejorar el acabado colocamos otra superficie lisa preparada con cera desmoldante encima de las capas de tejido de bambú impregnado como vemos en la figura 11. Después se permite curar la resina por no menos de 36 horas. Permitimos que los haces de fibra sobrantes sobresalgan del molde para facilitar el desmolde. Podemos oprimir las superficies con una carga pareja para evitar excesos de resina en la fibra.



Figura 11. Probeta curando

El estado final de curado puede optimizarse haciendo un pos curado de 100° por 10-24 horas. Este pos curado es particularmente importante para artículos designados a estar en contactos con alimentos y es muy recomendable para piezas expuestas a ambientes corrosivos. Para asegurar un buen proceso de curado es necesario mantener una temperatura entre 18° a 35°. De esta manera se asegura un curado libre de pegajosidad. También es importante resaltar que para este tipo de resina de poliéster para uso de interiores es necesario adicionar una pasta retardante al fuego para inhibir sus capacidades ignifugantes. Esta pasta se debe adicionar en un porcentaje del 12% al 20%. Esta pasta es una dispersión constituida por compuestos químicos resistentes al fuego que disminuyen el peligro al incendio y debe ser compatible con la resina de poliéster. Aunque opaca las piezas moldeadas y afectan el color de algunos pigmentos es necesaria adicionarla para aplicación de interiores aeronáuticos o cercanías a altas temperaturas.

Cuando la resina ha curado desmoldamos la probeta y obtendremos una lámina brillante, delgada, flexible y lisa como las que vemos a continuación:



Figura 12. Laminado terminado



Figura 13. Laminado terminado

2.5 Produccion en linea

Para la producción de este laminado podemos usar la técnica industrial RTM o moldeo por trasferencia de resina. Este proceso es ideal para los laminados este proceso no solo nos permite hacer laminados sino también piezas con cualquier forma. Los tiempos de producción por RTM son bajos, la superficie queda bien definida, no se requiere mayor capacitación a los operarios, se pueden utilizar moldes de distintos materiales, y los trabajadores no son expuestos a químicos o vapores tóxicos durante el curado y pos curado. [8]

3. RESULTADOS

Los resultados finales se están desarrollando ya que se requieren de numerosas pruebas para garantizas cifras reales. Con las primeras pruebas obtuvimos resultados bastantes positivos que pueden llevar a este material a remplazar materiales diariamente usados en la industria aeronáutica.

Con seguridad las propiedades mecánicas de las primeras probetas superaron las del aluminio de aviación que cuenta con una densidad de 2.8 (g/c), un esfuerzo a tención de 67 ksi y un modulo de elasticidad de 10(Msi) [3]. Para poder asegurar que este compuesto esta superando a las propiedades de compuestos de fibras de vidrio es necesario alizar las mismas pruebas a numerosas probetas que están en camino a ser probadas. No contamos con esta información hoy en día pero seguramente este material compuesto con fibras de bambú lograra aplicarse en la industria en un corto periodo de tiempo.

4. CONCLUSIONES

Para llegar a utilizar el bambú como un producto en la industria es necesaria la estandarización de la producción de sus fibras y de su uso en los compuestos. El planeta hoy en día necesita que desarrollemos productos que lo contaminen más. La industria no va a para de producir materiales pero que mejor manera que emplear la tecnología obtenida hasta el día de hoy para desarrollar materiales que no afecten al medio ambiente.

Vemos con gran futuro este material propuesto, sus características de producción y materia prima son únicas generando así un producto final único con características que abrirán puertas a nuevas aplicaciones para evitar materiales dañinos para nuestros ecosistemas. El desarrollo de materiales ecológicos esta a la vanguardia en todas las industrias por esta razón seguiremos en el desarrollo de este proyecto para poder ofrecerle al mundo mejores resultados para un mejor mañana.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] *Ciencia de los materiales*. http://es.wikipedia.org/wiki/ material_compuesto. Agosto 15

[2] *Kumar y C.B. Sastry La Red internacional del bambú y el rotén*. http://www.fao.org/docrep/x2450s/ x2450s0a. htm#TopOfPage. Septiembre 26, 2007 *A.*

[3] Strong a. Brente. Fundamental of Composites Manufacturing: materials, methods and application. Society of Manufacturing Engineers. Fifth edition. 989

[4] *Propiedades de la fibra de bambú*. http://www.bambootes.com. All website used

[5] Normas ASTM. *http://trans5.convertlanguage.com/astm/enes/ 24/_www_astm_org/cgi-bin/SoftCart.exe/NEWSITE_JAVASCRIPT/index.shtml?L+mystore+siqm6437+1190926415*. Oct 2, 2007

[6] Ishai O., Daniel Isaac. Engineering Mechanics of Composites Materials. Oxford university press. 2006 2nd edition.

[7] Sozer, M. Advani, Suresh. Process modeling in composites manufacturing. Marcel Dekker, inc. New York 2003

[8] ARBELÁEZ, A. *La estructura morfológica del culmo de la Guadua Angustifolia* Kunth.Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1998, p. 3-18.

[9] LONDOÑO, X., CAMAYO, G., RIAÑO, N. y LÓPEZ, Y. *Characterization of the anatomy of Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoidae) culms. En *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society,* 2002, Vol. *16* (1), p. 18-31.

[10] PARASMEWARAN, N. y LIESE, W. *On the fine structure of bamboo fibers*. En*: Wood Science and Technology*, 1976, *10*, p. 231-246.

[11] Liese, W., 1998. The anatomy of bamboo culms. INBAR Technical Report N° 18. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing, p. 66

[12] KROES, WALKINS, DELP.. *Aircraft maintenance and repair*. Mac Grun hill. Cap 11. Sixth edition

[13] Villa Henao Mónica Beatriz, *Fibras naturales*, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Facultad Ingeniería Industrial 2005

[14] Moreno. L.; Trujillo. E.; Osorio. L.; 2007. *Estudio de las características físicas de haces de fibra de guadua angustifolia*. En: Scientia et Technica Año XIII, No 34

[15] Moreno. L.; Trujillo. E.; Osorio. L.; 2006. *Estudio de las Propiedades mecánicas de haces de fibra de guadua angustifolia*. En: ingeniería y desarrollo, Universidad del Norte, 2006

[16] Moreno L, Luís, Osorio S, Lina, Trujillo, Efraín. *Propiedades mecánicas de fibra de Guadua Angustifolia.* Universidad Nacional 2006

[17] Barreto, Walter *La guadua en laminado y pegado estructural*, Investigación trabajo de grado, Universidad Nacional- sede Bogotá, Facultad de Artes, 2003