



**DEVELOPMENT OF NEW MATERIALS BASED ON BIO-EPOXY
RESINS WITH NATURAL FIBERS FOR AUTOMOTIVE
INDUSTRY
DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES BASADOS EN RESINAS BIOEPOXI
CON FIBRAS NATURALES PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

Hernández, C. A.* Ramón B.A Valencia F *****

***Camilo Andrés Hernández Barragán. Estudiante, Programa de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, email: camilo.hernandez@unipamplona.edu.co**

****Bladimir A. Ramón Valencia, Doctor Ingeniería de Materiales, Programa de Ingeniería Mecánica, Profesor Titular; Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, e-mail; hbladimir@unipamplona.edu.co**

*****Fabuer Ramón Valencia, Candidato a doctor, Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas Navales, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), España.**

Abstract: In the current work, natural fibers such as fique, hemp, flax and jute were used for reinforcement a biodegradable polymer matrix for manufacture of test specimen by means of hand layup process. Additionally simulation was carried out in a software CAD/CAE in order to evaluate the performance of composites materials object of study in a part of back compartment of a Nissan X-Trail. The results showed that the composite materials present good homogeneity regarding to the graphics of strength/deformation, as well as a breaking strength in values near between every test specimen analyzed. The simulation showed encouraging results for his application in interiors cars.

Resumen:

En el presente trabajo, fueron utilizadas fibras naturales tales como el fique, cáñamo, lino y yute para el reforzamiento de una matriz polimérica termoestable con características biodegradables. Estos materiales se mezclaron mediante la técnica de fabricación de materiales compuestos denominada *Hand lay up*. Se caracterizó cada combinación fibra/matriz mediante ensayos de tracción bajo norma ASTM D3039. Adicionalmente se realizó una simulación en un software CAD/CAE con el fin de evaluar el comportamiento de los materiales compuestos objeto de estudio en una pieza del compartimento trasero de una Nissan X-Trail. Los resultados mostraron que los materiales compuestos presentan buena



homogeneidad en cuanto a las gráficas esfuerzo/deformación, así como una rotura frágil en valores cercanos entre cada probeta analizada. La simulación arrojó resultados alentadores para su aplicación en interiores de vehículos.

Keywords: Natural fibers, composite materials, biodegradable, simulation, cars.

Palabras Claves: Fibras naturales, materiales compuestos, biodegradable, simulación, vehículos.

Recibido: Noviembre 21 de 2013

Aprobado: Marzo 15 de 2014

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente las fibras naturales, se han convertido en material de estudio y han adquirido gran importancia como consecuencia de la crisis del petróleo, de las nuevas reglamentaciones ambientales del desarrollo sostenible, de los productos verdes y de la reducción del gasto energético.

Para producir 1 kg de fibras sintéticas como fibras de carbono, aramida o fibras de vidrio se necesita 1.5 L de gasolina, mientras que para producir la misma cantidad de fibra natural, sólo se necesitan 260 cc de gasolina. Adicionalmente las fibras naturales presentan propiedades específicas superiores a las fibras de vidrio y carbono.

Los materiales compuestos son una combinación de dos materiales (elementos de refuerzo, relleno y una matriz de aglomerante compuesta), en donde los elementos que la conforman actúan en conjunto, pero conservando las propiedades de cada elemento del compuesto, permitiendo que sus propiedades sean superiores a la de los materiales individuales

(Paez, 2007 aglomerante compuesta), en donde los elementos que la conforman actúan en conjunto, pero conservando las propiedades de cada elemento del compuesto, permitiendo que sus propiedades sean superiores a la de los materiales individuales (Paez, 2007).

La matriz dentro de los materiales compuestos cumple las funciones de juntar las fibras y transferirles carga, proveer la forma a una estructura, aislar una fibra de modo que la propagación de grietas se detenga o reduzca su velocidad, proveer acabado superficial de buena calidad y proveer propiedades tales como tenacidad y resistencia al impacto (Composite One, 2005).

La fibra es el componente de refuerzo del material compuesto, aporta resistencia mecánica, rigidez y dureza y va a ser determinante para obtener las principales propiedades mecánicas. Las características más sobresalientes de las fibras en los materiales compuestos son su resistencia específica y su elevado módulo específico (MIRAVETE, 2000).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Las fibras de fique y yute fueron suministradas por la compañía de empaques, empresa colombiana, las fibras de lino y cáñamo fueron compradas en España. Las fibras de yute, lino y fique tienen trenzados ortogonales. Las fibras de lino son las únicas que tienen trenzado bajo norma. Además de los sistemas con fibras trenzadas, se utilizaron tejidos mat de lino y cáñamo, que consiste en una tela de hilos discontinuos unidos por un agente emulsificante que le da a la tela apariencia de fieltro, se pueden moldear partes complejas, pero presentan una disminución en las propiedades mecánicas finales del material compuesto.

La matriz de resina bio-epoxi con referencia SuperSap™ 100/1000 suministrada por Entropy Resins, es un sistema epoxi líquido de dos componentes diseñado específicamente para procesos de Wet Lay-up y curado a temperatura ambiente, de compuestos reforzados con fibras.

2.2 Preparación

La resina Bio-epoxi junto con las fibras trenzadas de lino, yute y fique, así como las fibras mat de cáñamo y lino se fabricaron mediante el proceso de infusión en vacío, derivado del proceso *hand lay-up*, el cual es un método de fabricación manual de compuestos. Se fabricaron láminas de 40x40 cm y un espesor promedio de 4mm. Para los sistemas resina Bio-epoxi/Fibra trenzada se utilizaron 5 capas de fibra con porcentajes en peso superiores al 30%. Para los sistemas resina Bioepoxi/Fibra mat se utilizaron dos capas de fibras con porcentajes en peso de fibra por encima del 22%. Los sistemas fueron fabricados en el laboratorio de materiales de la Universidad el laboratorio de materiales de la Universidad del País Vasco, bajo condiciones de temperatura y humedad controladas. Ver figura 1



Figura 1. Sistemas bioepoxy-fibra.

2.3 Caracterización

2.3.1 Ensayos de tracción

Se realizó una caracterización mecánica de los sistemas mediante ensayo de tensión a compuestos bajo norma ASTM D3039, en una máquina universal ISTRON 3367, con mordazas de accionamiento mecánico de 30kN de carga máxima de apriete, con una velocidad de avance estipulada de 2mm/min. Los ensayos de tracción se realizaron en condiciones de temperatura y humedad controlada, 23°C y 50% de humedad relativa, Ver figura 2.



Figura 2 Ensayo de tracción ISTRON 3367

2.3.2 Parámetros Óptimos de Taladrado.

Se realizó un diseño experimental factorial de orden 22 para evaluar el astillamiento producido durante el proceso de taladrado. Se utilizó una broca de 1/8 in (3.17 mm) de acero rápido HSS con un ángulo de punta de 60°. Se evaluó la interacción de las variables velocidad de husillo y velocidad de avance de la herramienta de corte. El experimento se realizó en el centro de mecanizado CNC LEADWELL V30 ubicado en el laboratorio de mecanizado de la universidad de Pamplona.

Tabla 1. Matriz de combinación de orden 3²

Variables		Valores			
Velocidad de corte (Vc)	Feed Rate (Fr)	Velocidad de Corte (Vc) (rpm)			
(rpm)	(mm/min)	a	b	c	
1	a	a	4500	5500	6500
2	a	b	FeedRate (FR) (mm/min)		
3	a	c			
4	b	b	a	b	c
5	b	a	457	357	257
6	b	c	Los valores base tomados del artículo "Finite Element Analysis of Drilling a Carbon Fiber Reinforced Composites" son Vc=4500 rpm FR=457 mm/min		
7	c	a			
8	c	b			
9	c	c			

2.3.3 Simulación por Elementos Finitos en Solidworks 2013.

Se seleccionó el panel de instrumentos de un BMW Z4, como pieza a modelar. El diseño se

realizó partiendo de una fotografía de la pieza, la cual se insertó en el plano "alzado"

para copiar las líneas y curvas a un boceto aproximado de la fotografía ver figura 3. Una vez terminada la pieza, se editaron 6 materiales compuestos en la biblioteca de materiales de Solidworks 2013. La idea principal de la simulación fue, comparar el comportamiento a carga estática de los materiales fabricados con los refuerzos de fibra natural (Cañamo mat, lino tren, yute tren, lino mat y fique tren), contra el desempeño de un polímero ABS con referencia LUSTRAN ABS 446, utilizado para la fabricación de partes internas de camiones.

Figura 3. Pieza modelada en Solidworks 2013



Debido al comportamiento frágil de los materiales fabricados, se utilizó el criterio de falla de la máxima tensión normal, ver ecuación 1.

$$\sigma_1 = \sigma_{ult} \quad (1)$$

Donde σ_1 representa el esfuerzo de tensión normal principal que actúa sobre la rea perpendicular a la aplicación de la carga, y σ_{ult} representa el valor del esfuerzo de ruptura hallado en los ensayos de tracción. Para el análisis del factor de seguridad se

tiene:

$$FOS = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_1} \quad (2)$$

Según la ecuación dos, el factor de seguridad para materiales con comportamiento frágil y que se rigen bajo el criterio de falla de tensión normal máxima, tienen un factor de seguridad igual a uno.

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Activar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	3 mm
Tolerancia:	0.15 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	84470
Número de nodos:	145517
Tipo de Sujeción	Fija
*Fuerza por elemento (N)	685.9
*Área Elementos (mm ²)	15.5884

Fuente: Solidworks Simulation 2013.

El método de elementos finitos divide la pieza a simular en elementos tetraédricos de tamaño promedio igual a 3 mm. Para hallar el valor de la fuerza a aplicar, se tomó el valor del esfuerzo último del material referencia LUSTRAN ABS 446, y se realizó el siguiente

$$F_{ult} (ABS) = 44 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sqrt{\quad}^2$$

$$= 3 * \quad = 3$$

$$= 15.5884 \quad ^2$$

$$= \quad (\quad) * (\quad)$$

$$= 685.9$$

La fuerza F=685.9 N es la fuerza aplicada a cada elemento de la malla, y es el valor de referencia para todos los sistemas analizados.

La presente investigación se ha realizado y evaluado bajo condiciones de laboratorio las variables del proceso como sólidos en suspensión totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Actividad Metanogénica (AM), determinado si el proceso llevado a cabo en el biodigestor es el óptimo y si presenta una eficiencia Standard Methods for the Examination of Water APHA (1995).....

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

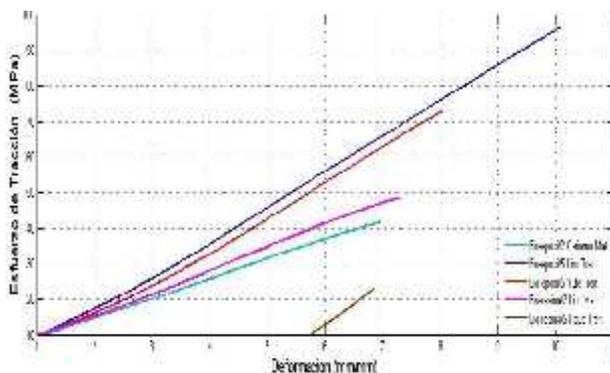
3.1. Ensayos de Tracción.

Los datos recopilados de los ensayos de tracción corresponden a los valores promedio para el módulo de elasticidad, esfuerzo de tracción y deformación de 5 especímenes, ensayados por material. Datos similares con grandes dispersiones en valores de esfuerzo de tracción y módulo de elasticidad son reportados por diferentes autores, por ejemplo [(NILSSON, 2010)]. Reporta un esfuerzo de tracción promedio de fibras de cáñamo de 1249 MPa con una

coeficiente de variación del 32.4%. En la tabla 1 se reporta un valor de módulo de elasticidad para el compuesto reforzado con lino mat de 946.1 MPa con un coeficiente de variación del 27%. Estos grandes valores de coeficientes de variación son aceptables en ensayos de tensión de materiales compuestos.

La fibra mat tiene la capacidad de adaptarse a formas complejas de moldeado pero presenta dificultades en la fluidez de la resina a través de la fibra en el proceso de infusión. El compuesto reforzado con fibra de lino mat obtuvo un rendimiento del 14.55% frente al esfuerzo de tracción específico del compuesto reforzado con fibra de cáñamo mat. Las fibras de refuerzo trenzadas ortogonalmente, permiten obtener valores superiores de esfuerzo de tracción, a los registrados por la fibra de refuerzo mat; debido a que al aplicar una carga longitudinal las fibras que se encuentran en esa dirección se alinean para soportar la carga, en contraste al deficiente alineamiento que desarrollan las fibras mat.

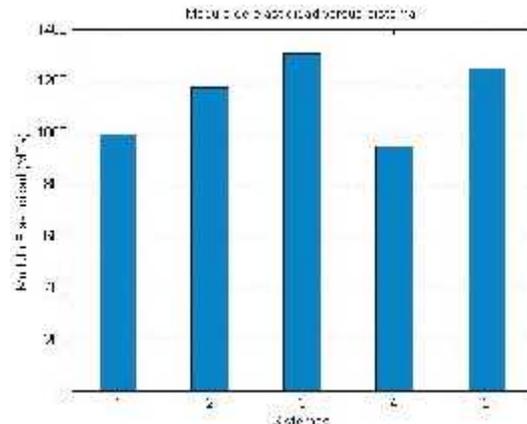
Figura 4. Grafica Esfuerzo-Deformación.



Por el contrario los sistemas reforzados con fibra Mat (magenta y verde en la figura 4), presenta valores de esfuerzo de tracción inferiores al esfuerzo de tracción de la resina. El sistema Bio-epoxi/Fique tren, registró valores deficientes de esfuerzos de tracción, dicho comportamiento será

analizado más adelante en este capítulo.

Figura 5. Módulo de Elasticidad vs Sistema

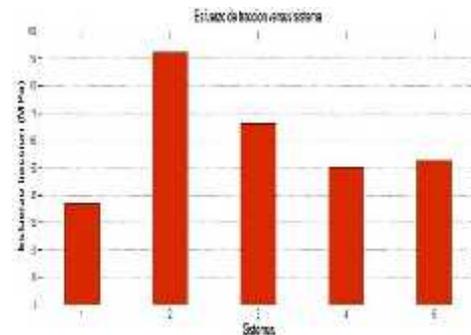


Para el análisis de los compuestos desarrollados se enumeraron de la siguiente manera:

- Sistema 1: Bio-epoxi/Cáñamo Mat.
- Sistema 2: Bio-epoxi/Lino Tren.
- Sistema 3: Bio-epoxi/Yute Tren.
- Sistema 4: Bio-epoxi/Lino Mat.
- Sistema 5: Bio-epoxi/Fique Tren.

Es de vital importancia resaltar la uniformidad en los resultados, en donde los módulos de elasticidad para los *compuestos* reforzados con fibras trenzadas (sistema 2, sistema 3 y sistema 5), son superiores a los módulos de elasticidad de los compuestos reforzados con fibras Mat (sistema 1 y sistema 4).

Figura 6. Esfuerzo de tracción vs Sistema.

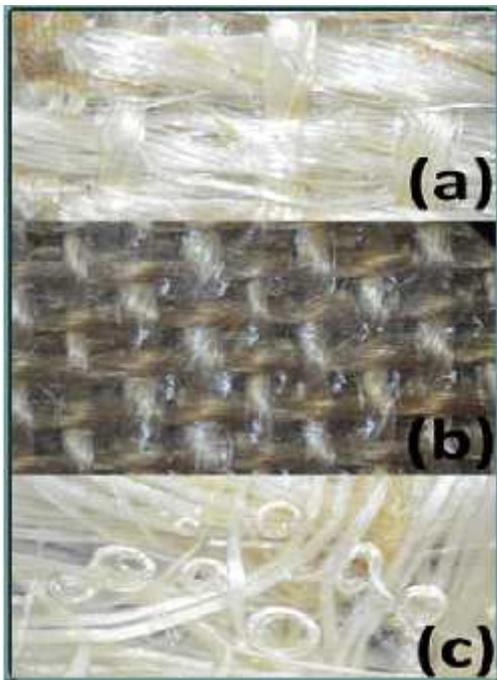


En la figura 6 correspondiente al esfuerzo de tracción vs Sistema, se puede observar que el mayor esfuerzo de tracción es obtenido por el sistema 2 (Bio-epoxi/Lino Tren), debido a que el trenzado de las fibras de lino está certificado por el fabricante (LINEO). A pesar de que las fibras de yute no tiene un trenzado certificado, es el sistema que más se acerca al desempeño que se evidencio en la fibra de lino.

Dicho desempeño es atribuido a la distancia en fibras, entre más tupida sea el tejido trenzado mejor es su comportamiento

mecánico debido a que los espacios entre fibras propician la formación de burbujas de aire, al interior del laminado compuesto. Estas burbujas se comportan como concentradores de esfuerzos y reducen el desempeño mecánico del compuesto laminado (1).

Figura 7. Diferencia entre Trenzado del fique y yute.



Las áreas encerradas en círculos rojos corresponden al desprendimiento de fibra causado por la herramienta de corte en la superficie de entrada del material figura 4 (izquierda) y en la superficie de salida figura 4 (derecha). El astillamiento en la cara superior del laminado es usualmente una señal de que la velocidad de avance es demasiado alta, mientras que el astillamiento en la superficie de salida indica que la fuerza de avance es demasiado alta. Por lo tanto se concluye, que la velocidad de avance es la adecuada, debido a que no se generó un astillamiento representativo en la superficie de entrada de la herramienta de corte

Figura 8 Esteromicroscopía óptica x20 para compuestos reforzados con fibra de cáñamo mat superficie de entrada (izquierda), superficie de salida (derecha).



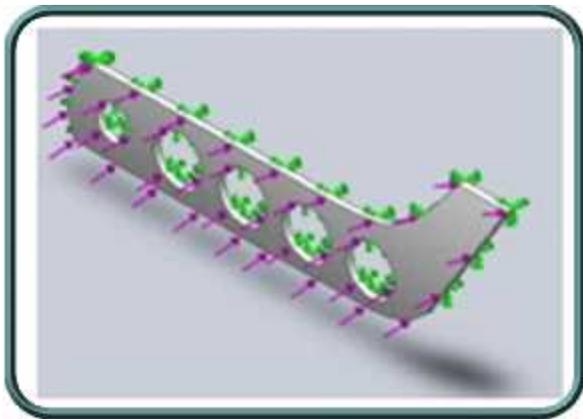
Sin embargo la herramienta de corte genera una fuerza de empuje alta en las cara de la salida del lamiando. Este efecto puede ser reducido cambiando la herramienta por una que tenga un ángulo de punta de 45° , (Ensinger, 2013). Los compuestos reforzados con fibras trenzadas presentan menor astillamiento que los compuestos reforzados co fibra mat, para una broca de acero rápido HSS de $1/8$ in 60° de ángulo de punta, y de dos filos de corte. Del análisis factorial se concluye que una velocidad de husillo de 5500 rpm y una velocidad de avance de 257 mm/min. para la broca de acero rápido HSS de $1/8$ in (3 . 1 7) m m) . .

Se consideran como parámetros aceptables para el taladrado de compuestos reforzados con cinco capas de fibra natural trenzada de 4 mm. de espesor.

3.3. Análisis por elementos finitos

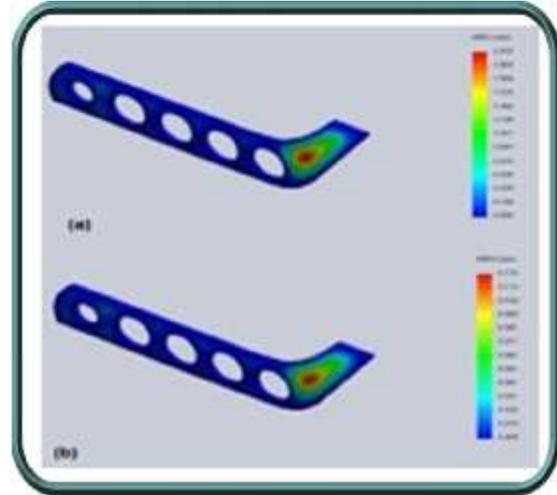
La finalidad de la discretización de la pieza simulada para cada compuesto de la tabla 3. era encontrar un material que se aproximara al comportamiento desarrollado por el compuesto de fibra de vidrio, principalmente en relación al factor de seguridad.

Figura 9. Carga distribuida de 6495 N por elemento y sujeción de geometría fija.



La figura 9, compara los máximos desplazamientos URES entre los compuestos reforzados con fibra de vidrio y cáñamo mat. El desplazamiento URES se obtiene de la combinación de desplazamientos en las tres direcciones XYZ. En la figura 31 (a) el máximo desplazamiento URES para el compuesto de fibra de vidrio, alrededor de 1500% mayor, ver la figura 31 (b). Este comportamiento permite apreciar la influencia de la fibra mat de lino en el aumento de la tenacidad del compuesto.

Figura 10. Desplazamientos URES compuesto de fibra lino mat (a), compuesto de fibra de vidrio (b).



La tabla 3. resume los valores de desplazamiento URES, tensión normal en Z y factor de seguridad para los compuestos reforzados con fibras mat de cáñamo y lino. La finalidad de la discretización de la pieza simulada para cada compuesto de la tabla 8, era encontrar un material que se aproximara al comportamiento desarrollado por el compuesto de fibra de vidrio, principalmente en relación al factor de seguridad. El compuesto reforzado con fibra de lino obtuvo un factor de seguridad de 3.3, el cual está encima del valor mínimo exigido, según Netto (1). Por lo tanto se concluye que el compuesto reforzado con lino mat es apto para aplicaciones en interiores de vehículos con mínimas exigencias de carga estática.

Tabla 3. Resumen datos simulación compuestos reforzados con fibras mat.

	Desplazamiento URES (mm)	Tension normal a Z (MPa)	Factor de Seguridad
Bio-resina/2 Cáñamo mat	1,97	3,9	2,02
Bio-resina/2 Lino mat	2,03	4,3	3,3
Compuesto fibra de vidrio	3,122	5,6	4,65

Es necesario realizar ensayos de caracterización mecánica para determinar propiedades como el límite de compresión y el coeficiente de *Poisson* con el objetivo de obtener resultados más aproximados a un comportamiento real a carga estática.

5. CONCLUSIONES

La elección del proceso de infusión en vacío como proceso de conformado de compuestos de matriz termoestable, reforzados con fibras naturales de tipo mat y trenzada, demostró ser un proceso eficaz en el control del espesor de las láminas fabricadas. En adición la elección de la resina bioepoxy como matriz del compuesto permitió alcanzar un grado alto de impregnabilidad de la resina sobre el refuerzo, lo cual se vio reflejado en la homogeneidad de las propiedades mecánicas desarrolladas por los compuestos.

Los ensayos de tracción realizados revelaron la superioridad de los compuestos reforzados con fibras trenzadas, frente a los compuestos reforzados con fibra mat. Esto se debe principalmente a que se pueden agregar 5 capas de refuerzo trenzado para un espesor de 4mm, en contraste con 2 capas de refuerzo mat para el mismo espesor. Se obtuvieron valores homogéneos en los ensayos de tracción para los dos tipos de refuerzo, lo cual indica la presencia de una interfase fibra/matriz fuerte.

Se estableció la velocidad de avance en 257 mm/min, para los compuestos reforzados con fibra mat. Sin embargo la velocidad del husillo, se debe replantear debido a que el rango de velocidad utilizado en el experimento, concluyo ser muy alto para este tipo de refuerzo.

La simulación a carga estática de los materiales objeto de la presente investigación en una pieza automotriz validó la utilización de los compuestos de fibra mat y trenzada en partes internas de vehículos. Adicionalmente los compuestos de fibra trenzada reportaron valores de factor de seguridad del orden de 46, lo cual permite concluir que son materiales que podrían tener un buen comportamiento en componente estructurales de vehículos, de esta manera los compuestos de fibras trenzadas ofrecen un rango de trabajo más amplio.



Referencias Bibliográficas

1. NETTO, Theodoro. Curso de materiales compuestos. Rio de Janeiro : Universidad Federal de Rio de Janeiro. Ingenieria Naval y Oceanica, 2010.
2. SHEN, Li y HAUFE, Juliane. Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. netherland : Group Science, Technologic and Society, 2009.
3. MADRID, Antonio. Industrial del plastico. s.l. : RICHARDSON & LOKENSGARD, 2000.
4. Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications . HOLBERY, James y HOUSTON, Dan. s.l. : JOM, 2006.
5. D I T T E N B E R , D a v i d B . y GANGARAO, Hota. Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. West Virginia, United States : Composites: Part A, 2012.



- 6 ASKELAND, Donald. Science engineering materials.
- 7 MIRAVETE, Antonio. Materiales compuestos. Zaragoza, España: s.n., 2000.
- 8 COMPOSITE ONE. Composite one [En línea] 2005 [Citado el 18 de marzo de 2013.] <http://www.compositesone.com/alossary.htm#top>.
- 9 KOPELIOVICH, Dimitri. Substances and technologies Forum. [En línea] www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=classification_of_composites

