

## APLICACIÓN DE FIBRA DE YUTE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS PARA VEHÍCULOS FÓRMULA SAE

### APPLICATION OF JUTE FIBER IN THE CONSTRUCTION OF CAR BODIES FORMULA SAE

<sup>1</sup>Henry Heriberto Iza Tobar, <sup>2</sup>Leonidas Antonio Quiroz Erazo, <sup>3</sup>Marcelo Fabián Salazar Corrales  
<sup>1-2-3</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, Latacunga, Ecuador  
 E-mails: <sup>1</sup>hhiza@espe.edu.ec, <sup>2</sup>laquiroz@espe.edu.ec, <sup>3</sup>mfsalazar@espe.edu.ec.

*Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.13 (13)*

#### RESUMEN

Se describe la aplicación de la fibra de yute en la construcción de carrocerías para vehículos Fórmula SAE. El desarrollo de esta investigación considera la implementación de nuevos materiales aplicados a la industria automotriz. Se interpreta los valores de las propiedades mecánicas de los tipos de fibras naturales como son lino, cáñamo, yute, kenaf, ramio, sisal, carauá, abacá, fibra de vidrio. Para decidir la aplicabilidad de la fibra de yute, se realiza una matriz de ponderación donde se valora cualitativamente las características de cada una de las fibras naturales anteriormente citadas. Usando el software SolidWorks SP3 2014 se realiza un análisis computacional de la carrocería de fibra de yute para determinar el flujo de aire. Al final del documento se encuentra descritas conclusiones de la aplicabilidad de la fibra de yute en la construcción de carrocerías.

**Palabras Clave:** Carrocería, fibra de yute, Fórmula SAE.

#### ABSTRACT

The application of jute fiber in the construction of vehicle bodies for Formula SAE described. The development of this research considers the implementation of new materials applied to the automotive industry. The values of the mechanical properties of the types of natural fibers such as flax, hemp, jute, kenaf, ramie, sisal, carauá, abaca, fiberglass is interpreted. To decide the applicability of jute fiber, a weight matrix which qualitatively evaluates the characteristics of each of the above natural fibers is performed. Using the software SolidWorks 2014 SP3 computational analysis of jute fiber body is performed to determine the airflow. At the end of the document is described findings of the applicability of jute fiber body construction.

**Keywords:** Car body, jute fibre, formula SAE.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las importantes competencias estudiantiles de pregrado y posgrado en distintas áreas de la ingeniería es la Formula SAE (Society of Automotive Engineers) en donde, se plantea el desafío de diseñar, fabricar desarrollar y competir con vehículos tipo fórmula. La libertad de expresar la creatividad e imaginación son evaluadas en estas competencias. El reto para los diferentes equipos participantes es que puedan competir con éxito en pruebas como son: [1]. un plan de negocios, reporte de costos, reporte de diseño, de deslizamiento, de obstáculos, de resistencia, de eficiencia de combustible y para el 2015 la Formula SAE propone pruebas de configuración del vehículo, dispositivos aerodinámicos. [2].

Desde el 2011, el equipo de competencia FESPE (Formula ESPE) ha representado a Ecuador en Alemania en la pista de Hockenheim Ring, habiendo adquirido experiencias enriquecedoras para el equipo y para el país, las mismas han permitido que se pueda ir innovando tanto en ingeniería de diseño y materiales utilizados para la construcción del vehículo.

El uso de materiales compuestos está presente en casi todo el diseño de los vehículos de competencia, tal es el caso de la existencia de bastidores y carrocerías de fibra de carbono, soportes de aluminio de alta resistencia, acero para discos de freno, atenuadores tipo “panales de abeja”.

La necesidad de usarlos de una manera adecuada en cada uno de los componentes del vehículo es vital para que el vehículo tenga una eficiencia de combustible y por ende el puntaje necesario en la competencia.

La carrocería del vehículo según la reglamentación de la Formula SAE hasta el 2014 no tiene ninguna restricción tanto en el material como en el diseño pero, para el 2015 ya existe un apartado en donde se ve involucrado la aerodinámica por ende la carrocería del vehículo.

La reducción de peso del vehículo se ha considerado como uno de las soluciones más importantes para mejorar la economía de combustible, la reducción peso potencia y llegar a tener pocas o nulas emisiones contaminantes. Se cree que el peso del cuerpo del vehículo se puede reducir por el uso de múltiples materiales y sin aumento de coste.

Carrocerías de vehículos ligeros han utilizado aceros de aleaciones de alta resistencia y bajo peso, aleaciones de aluminio [3]. Dentro de las consideraciones previstas para la construcción de la carrocería del vehículo Formula SAE se tiene: la optimización del material a utilizar en función de su peso, las propiedades mecánicas de los materiales, el espesor, costo de los mismos.

Por lo descrito anteriormente, se crea la necesidad de utilizar nuevos materiales compuestos con fibras naturales que reemplacen a los ya utilizados en la elaboración de la carrocería para los vehículos de la Formula SAE, aportando también con el desarrollo productivo del país.

Los nuevos materiales aportan ventajas, tanto desde el punto de vista de economía y facilidad en el transporte y ensamble, sin olvidar la reducción de cargas muertas cuando se utilizan de modo integral o masivo. [4].

De la gran variedad de materiales compuestos que existen en el mercado, se puede describir que estos son formados por matrices orgánicas (epoxi, vinilester, poliéster) y fibras de alta resistencia (vidrio, carbono, aramida, fibras naturales, etc.),

considerándose a estos como los más desarrollados y utilizados a nivel industrial. [5].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

La necesidad de desarrollar tecnologías limpias debido al deterioro ambiental ha hecho que se busquen alternativas al uso de nuevos materiales, los mismos que puedan reemplazar a los ya tradicionales y que mejor forma que hacerlo con fibras naturales. En el Ecuador el desarrollo de materiales compuestos se encuentran en su etapa inicial, por ende, el uso de fibras naturales todavía es limitado [4]. Los jueces de las competencias de la Formula SAE, dentro de sus evaluaciones califican la innovación que haga el equipo al vehículo por tal motivo, el uso de fibras vegetales como elemento constructivo sería algo novedoso para su aplicación. Guerrero (2011) describe algunas propiedades mecánicas mostradas en la Tabla 1. El costo es una de las referencias que los autores del artículo han anexado en base a una investigación de campo realizado en julio 2014.

importante en aplicaciones donde la reducción de peso es una prioridad. Por lo tanto, no es sorprendente que las fibras naturales se utilicen como refuerzo para matrices de polímeros que reemplazarán las fibras de vidrio convencionales [5]. En la Figura 1 se puede observar que todas las fibras naturales tienen una densidad baja y casi los mismos valores a comparación que con la fibra de vidrio. Por otro lado, cuando se utilizan materiales compuestos que contienen fibras naturales, hay beneficios adicionales obtenidos como un comportamiento ecológico mejorado debido a la menor densidad de la fibra natural en comparación con el vidrio [6].

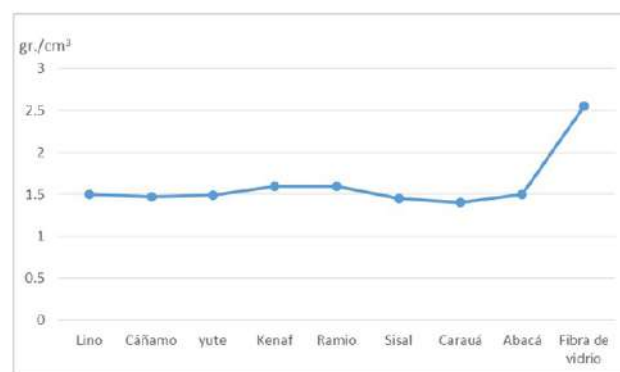


Figura 1. Densidad de las fibras naturales.

TABLA 1.  
Propiedades mecánicas de fibras naturales y fibra de vidrio [6].

FIBRAS	Densidad (g/cm³)	Diámetro (mm)	Resistencia a la tensión (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Elongación (%)	Costo (USD/Kilo)
Lino	1.50	40 – 600	345 – 1500	27.0 – 39.0	2.7 – 3.2	12.95
Cãñamo	1.47	25 – 250	550 – 900	38.0 – 70.0	1.6 – 4.0	6.45
Yute	1.3 – 1.49	25 – 250	393 – 800	13.0 – 26.5	1.16 – 1.5	3.87
Kenaf	1.5 – 1.60	2.6 – 4	350 – 930	40.0 – 53.0	1.6	1.57
Ramio	1.5 – 1.60	0.049	400 – 938	61.4 – 128	1.2 – 3.8	8.33
Sisal	1.45	50 – 200	468 – 700	9.4 – 22.0	3.0 – 7.0	2.70
Carauá	1.40	7 – 10	500 – 1100	11.8 – 30.0	3.7 – 4.3	1.87
Abacá	1.50	10 – 30	430 – 813	31.1 – 33.6	2.9	1.45
Fibra de vidrio	2.55	15 – 25	2000 – 3500	70.0 – 73.0	2.5 – 3.7	8.33

### Densidad

En varias fibras como el lino, yute y cãñamo tiene su densidad que aproximadamente es el doble de las de fibras de vidrio. Esto es particularmente

Los productos hechos de materiales compuestos reforzados con yute tienen la ventaja de bajo costo, baja densidad, renovabilidad y biodegradabilidad. Estos compuestos pueden ser utilizados en la industria del embalaje, es decir, la fabricación

de jaulas, cajas o estuches utilizados para el almacenamiento y transporte de productos agrícolas, en la industria del automóvil para para sustituir la fibra de vidrio en puertas de automóviles, y como material de construcción [7].

### Resistencia a la tensión, módulo de Young y elongación

Los materiales con alta rigidez y resistencia específica serán considerados en aplicaciones en donde el peso será un factor crítico para ser utilizado. No existe una fibra óptima que supere los valores de resistencia a la tensión de la fibra de vidrio como se muestra en la Figura 2.

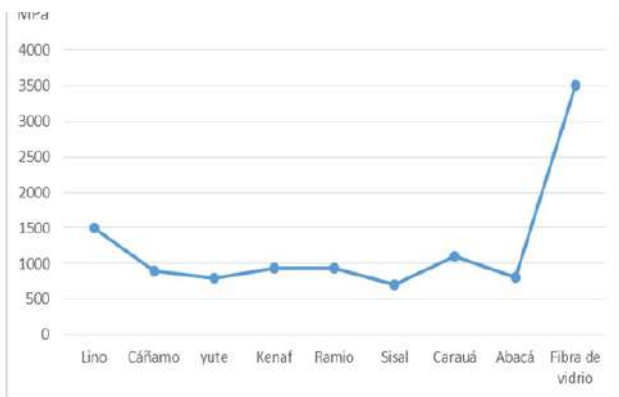


Figura 2. Resistencia a la tensión de las fibras naturales.

Generalmente, la resistencia a la tracción y el módulo de Young de las fibras aumenta al incrementarse también el contenido de celulosa. El ángulo microfibrilar determina la rigidez de las fibras. Las fibras vegetales son más dúctiles si el microfibrilar tiene una orientación espiral al eje de la fibra. Si se orientan las microfibras paralelas al eje de la fibra, estas serán rígidas, inflexibles, presentando una alta resistencia a la tracción. [8].

En la Figura 3 se indica que el módulo de Young del ramio presenta un valor alto a comparación de las otras fibras inclusive con la de vidrio por tanto este material será el que menos se deforme, el yute y el sisal representan los valores más bajos del

módulo de Young. La elongación es representativa para las fibras ya que la elongación de la fibra indica un tipo de deformación que se la puede tener luego de aplicarle una carga, en la Figura 4., se observa que el sisal tiene una elongación muy elevada comparándola con otras fibras.

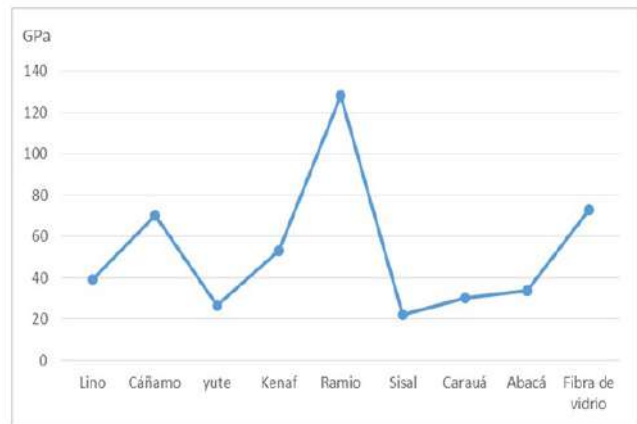


Figura 3. Módulo de Young de las fibras naturales.

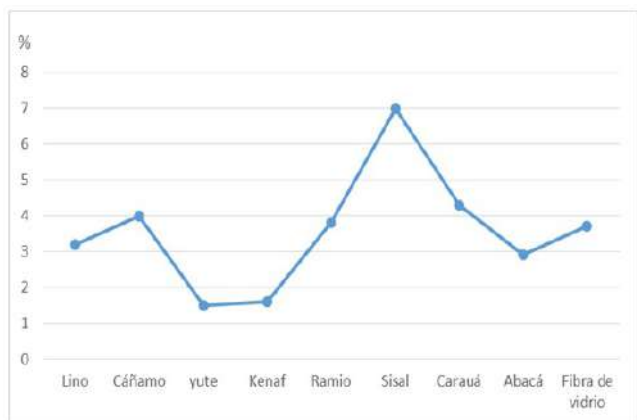


Figura 4. Porcentaje de elongación de las fibras naturales.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2., se ha realizado una valoración de las propiedades mecánicas y el costo de la fibra, como criterio de evaluación se ha señalado tres indicadores de ponderación, siendo alto un valor correspondiente a 1 y 0 que corresponde a una cualidad baja de la fibra.

Al realizar la ponderación se determinó que una de las fibras que se puede utilizar en reemplazo de la de vidrio es la de yute, su facilidad de adquisición

y manejo permite ser una alternativa para la construcción de la carrocería del vehículo.

En la Tabla 2., se ha realizado una valoración de las propiedades mecánicas y el costo de la fibra, como criterio de evaluación se ha señalado tres indicadores de ponderación, siendo alto un valor correspondiente a 1 y 0 que corresponde a una cualidad baja de la fibra.

Al realizar la ponderación se determinó que una de las fibras que se puede utilizar en reemplazo de la de vidrio es la de yute, su facilidad de adquisición y manejo permite ser una alternativa para la construcción de la carrocería del vehículo.

sustentación. El coeficiente de arrastre es la fuerza que se opone al desplazamiento del vehículo en el eje X y la componente en el eje Y que tiende a elevar al vehículo se la llama sustentación. Estos coeficientes se visualizan en la Figura 5.

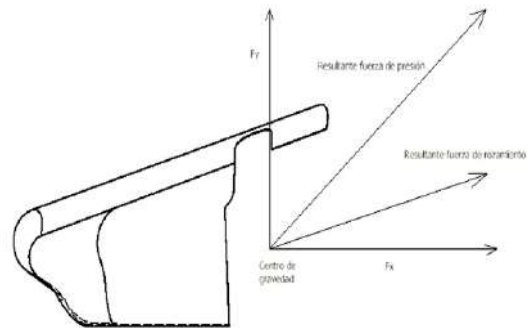


Figura 5. Coeficiente de arrastre y sustentación

TABLA 2.

Matriz de ponderación para la selección de la fibra

FIBRAS	CONDICIONES DE PONDERACIÓN						Total de ponderación
	Densidad	Resistencia a la tensión	Módulo de Young	Elongación	Costo	Facilidad de adquisición	
Lino	0.91	0.29	0.84	0.69	0.00	0.80	3.53
Cáñamo	0.94	0.07	0.55	0.55	0.57	0.70	3.37
Yute	0.92	0.04	0.96	1.00	0.79	1.00	4.70
Kenaf	0.83	0.08	0.71	0.98	0.99	0.50	4.09
Ramio	0.83	0.09	0.00	0.58	0.40	0.80	2.69
Sisal	0.96	0.00	1.00	0.00	0.89	0.80	3.65
Carauá	1.00	0.14	0.92	0.49	0.96	0.80	4.32
Abacá	0.91	0.04	0.89	0.75	1.00	0.80	4.39
Fibra de vidrio	0.00	1.00	0.52	0.60	0.40	1.00	3.52

### Requerimientos de la carrocería del vehículo.

La resistencia del aire es importante para el desempeño del vehículo. La mayoría de los automóviles producen sustentación y conforme la velocidad aumenta, este esfuerzo convierte al auto inestable. Una forma de contrarrestar este inconveniente es generar una sustentación negativa en donde la forma y diseño de la carrocería es importante para el desempeño del vehículo, esta sustentación negativa debe distribuirse entre la parte delantera y trasera del vehículo. Dos coeficientes deben ser analizados para el diseño de una carrocería, estos son el de arrastre y de

### Análisis y simulación por computador de la carrocería.

Una de las dificultades en la construcción de la carrocería es que no se tenga condiciones físicas para poder determinar su eficiencia en el funcionamiento del vehículo como componente en condiciones aerodinámicas. Para este caso de la aplicación y construcción de la carrocería se ha utilizado SolidWorks. El procedimiento a realizar es el siguiente:

- *Elaboración del boceto de la carrocería del vehículo:* Se realiza el boceto tomando las

medidas luego de haber hecho la construcción del bastidor del vehículo utilizando el software se representa a la carrocería como se muestra en la Figura. 6.



Figura 6. Boceto de la carrocería del vehículo.

- *Análisis del flujo de aire:* para ello se tomó en cuenta las condiciones ambientales de la pista de Hockenheim Ring, donde la temperatura ambiente de la pista promedio es de 20°C, la presión atmosférica es de 98 900 Pa. Para crear el material se tomó la densidad de la fibra de yute que es de 1.49 g /cm<sup>3</sup> y el módulo de elasticidad que es 26 500 000 000 Pa., valores que fueron transformados a unidades requeridas por el programa.
- Los resultados obtenidos permiten visualizar que no existen problemas de sustentación y arrastre ya que la altura del vehículo no supera los cinco centímetros por ende la presión ejercida hace que el vehículo se pegue al suelo, esta representación se muestra en la Figura. 7. Se hizo la comparación de material con fibra de vidrio con las condiciones de pista no se tuvo variación de la presión ejercida, encontrándose un valor de aceptable de 101 432.79 Pa., como valor presente en la parte delantera de la carrocería mostrado en la Figura. 8.

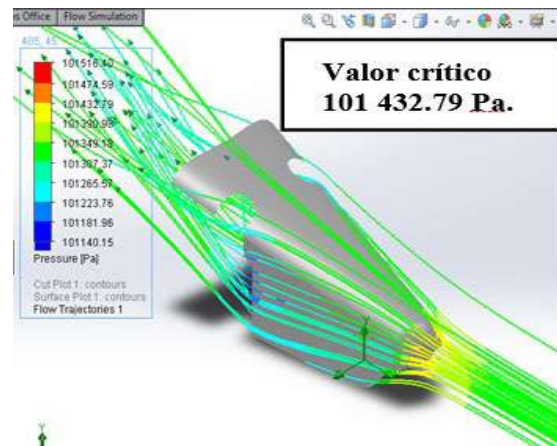


Figura 7. Resultados de la simulación fibra de yute



Figura 8. Resultados de la simulación fibra de vidrio.

### Proceso a aplicar en la construcción de la carrocería del vehículo formula SAE

Debido a la facilidad de manejo de la fibra y adquisición de materiales a utilizar la estratificación manual es uno de los procesos más empleados para la elaboración de este tipo de componentes vehiculares. Es la técnica más simple y tradicional para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable. Las matrices más comunes son: poliésteres, resinas epóxicas y fenólicas. La resina poliéster, frecuentemente usada por el bajo costo, tiene un contenido de estireno monómero entre 30 y 50% en peso. Como iniciador de la reacción se utiliza octato de cobalto y como catalizador peróxido de metiletil cetona [6].

Este método fue seleccionado por la facilidad e aplicación, su costo bajo y la disponibilidad de

materiales.

## Proceso de fabricación.

Para la realización de la carrocería, se siguió el proceso mostrado en la Figura. 9.



Figura 9. Proceso para la fabricación de la carrocería de matriz poliéster reforzada con fibra de yute

La preparación del molde es importante, este se construyó con fibra de vidrio y madera para dar la forma de la carrocería, se muestra en la Figura. 10. Al tener el molde ya fabricado se coloca cera desmoldante tal como se muestra en la Figura. 11, con la finalidad que se pueda retirar la carrocería al finalizar el secado.



Figura 10. Molde de la carrocería.



Figura 11. Colocación de la cera desmoldante.



Figura 12. Colocación de la fibra de yute y resina.

Como matriz se empleó resina poliéster insaturada; el iniciador del proceso de curado de la resina fue octoato de cobalto y el catalizador, peróxido de metil-etil cetona (MEKP) esto de muestra en la Figura 12. Como refuerzo se utilizó dos capas de fibra de yute. La composición se indica en la Tabla 3.



Figura 13. Carrocería de fibra de yute.

Tabla 3. Cantidades de resina, octoato de cobalto, MEKP y fibra tejida, utilizados para el material compuesto.

<b>Espesor [mm]</b>	2
<b>Número de capas</b>	2
<b>Fibra tejida [g]</b>	300
<b>Fracción Volumétrica</b>	0.30
<b>Resina poliéster [cm<sup>3</sup>]</b>	2000
<b>Octoato de cobalto [cm<sup>3</sup>]</b>	10
<b>MEKP [cm<sup>3</sup>]</b>	5

Se dejó secar por 5 días para lograr una mejor consistencia y forma de la carrocería. Con estas consideraciones, se obtuvo la carrocería que se puede visualizar en la Figura. 13.

Tabla 4. Comparación de carrocerías fabricadas

Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 2.2 mm.			
CARROCERIA	PESO (Sin pintura)	ESPESOR (Sin Pintura)	COSTO DE MATERIALES
	10 Kg.	5.9 mm.	300 USD.
Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 1.8 mm.			
CARROCERIA	PESO (Sin pintura)	ESPESOR (Sin Pintura)	COSTO DE MATERIALES
	8 Kg.	4.2 mm.	240. USD
Fibra de vidrio			
	3.6 Kg.	2.6 mm	120 USD
Fibra de yute.			
CARROCERIA	PESO (Sin pintura)	ESPESOR (Sin Pintura)	COSTO DE MATERIALES
	2.4 Kg.	2.0 mm	60 USD

### *Evaluación de la carrocería de yute construida con otras de diferente material.*

Luego de realizado el análisis de cada uno de los materiales, se puede determinar que la fibra de yute y todas las fibras naturales presentan una baja resistencia mecánica, por tal motivo la estructura que se desea construir no debe estar sometido a mayores cargas.

Este tipo de carrocerías al servir como protección del vehículo y tener una componente aerodinámica se ha determinado mediante simulación mostradas en las Figuras. 7 y 8., que las presiones encontradas y las líneas de flujo no afectan significativamente a su estructura, lo que sí es importante destacar



es la reducción de peso y espesor con relación a carrocerías anteriores que poseen similares características de diseño. Esto se puede evidenciar en la Tabla 4.

Tabla 5. Ventajas y desventajas del uso de fibra de vidrio con refuerzos metálicos y de aluminio con fibras de yute

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Uso de fibra de yute	Fácil construcción. Carrocería liviana. Estructura de la fibra fácil de moldear. Fibra natural, convirtiéndose en innovadora para usos automotrices. Facilidad de acceso de los materiales. Costo bajo.	Baja resistencia mecánica. Flamabilidad alta. [9].
Uso de fibra de vidrio	Fácil construcción. Carrocería liviana. Estructura fácil de moldear. Fibra común. Fácil acceso de materiales. Costo medio.	Baja resistencia mecánica. Mayor densidad por ende el peso se incrementa. Flamabilidad media. [9].
Uso de fibra de vidrio con refuerzo metálico.	Mayor resistencia mecánica.	De difícil construcción. Carrocería pesada. Estructura compleja para moldear. Fácil de acceso de materiales. Costo alto. Flamabilidad baja. [9].

En la tabla 5 se describe las ventajas y desventajas del uso de la fibra de vidrio y yute.

#### 4. CONCLUSIONES

- Es factible la utilización de fibras naturales como la de yute en aplicaciones automotrices.
- No existe variación de presiones en las simulaciones de fibra de vidrio y yute, por tal razón se puede ver una ventaja de la fibra natural en función del peso.
- La selección del material o la fibra natural a utilizar, dependerá de los requerimientos

propios de la aplicación a realizar.

- El costo total de producción de la carrocería de fibra de vidrio, tuvo una reducción del 50% en comparación de la de yute.
- El peso de la carrocería de yute comparándola con la de fibra de vidrio se redujo en un 44%.

#### REFERENCIAS

- [1] Formula SAE Rules, 2014.
- [2] Formula Student Combustion, 2014.
- [3] X. Cui, H. Zhang, S. Wang, L. Zhang y J. Ko, «Design of lightweight multi-material automotive bodies using new material,» ScienceDirect, 2010.
- [4] H. Villacis, Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con Fibra de Vidrio y abacá mediante estratificación, Quito: EPN, 2011.
- [5] A. Morales y M. Ponce, Materiales reforzados de poliolefinasrecicladas y nanofibras de celulosa de Henequén, México: Instituto Tecnológico Ciudad de México, 2011.
- [6] V. Guerrero, J. Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y Valdivieso, NUEVOS MATERIALES, Quito, 2011.
- [7] S. Kalia, B. S. Kaith y I. Kaur, CELLULOSE FIBERS: Bio - and Nano-Polymer Composites, India: Springer, 2011.
- [8] F. Arcentales, V. Guerrero, Obtención de materiales compuestosw híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y de vidrio para la elaboración de tableros. Quito, 2011.

[9]A. Mohanty, M. Misra y L. Drzal, Natural fibers, biopolimers and biocomposites. Estados Unidos: Taylor & Francis Group, 2005.

**Registro de publicación:**

<i>Fecha de recepción</i>	18 de agosto 2015
<i>Fecha aceptación</i>	28 noviembre 2015

**BIOGRAFÍA**

1 Iza Henry, Docente Tiempo Parcial del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica Ingeniero Automotriz. Magíster en Gestión de la Producción, Con diplomado Superior en Autotrónica y Docencia Universitaria. Asistente y Coordinador de Investigación del Proyecto FESPE.



2 Leonidas Quiroz, Magíster en Gestión de Energías, Diploma Superior en Autotrónica, Ingeniero Automotriz, Docente Tiempo Completo, del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.



3 Fabián Salazar, Ingeniero Automotriz, Magíster en Gestión de Energías Maestría Ejecutiva en Dirección de Empresas Especialista en Gerencia de Proyectos Diplomado en Gerencia de Marketing Diploma superior en Gestión para el aprendizaje universitario. Docente Tiempo Parcial, del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.