



Construcción de la carrocería del vehículo de competición Fórmula Student a partir de materiales compuestos con fibra natural

Construction of the bodywork of the competition vehicle Formula Students from natural fiber composite materials

Construção da carroceria do carro de corrida de Fórmula Student com materiais compostos de fibra natural

Christian Bautista Bravo

cgbautista@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8212-758X>

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

Patricio Mena Izurieta

ppmena@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3299-5981>

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

Cristian Paredes Gordillo

cparedes588@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5708-5883>

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

Artículo recibido en mayo 2021, revisado en junio 2021, arbitrado en julio 2021 y publicado en septiembre 2021

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el desarrollo de una carrocería para el vehículo fórmula Student, utilizando fibra animal (crin de caballo) y fibra vegetal (cabuya) como refuerzos unidos a una matriz de resina poliéster. Se analiza el comportamiento del material a utilizar mediante probetas combinando los refuerzos en diferentes capas y sometiendo posteriormente a ensayos de tracción, flexión e impacto bajo normas ASTM. En el diseño de la carrocería se usó software CAD que permite evaluarla bajo condiciones aerodinámicas reales y determinar la geometría más adecuada. Para el conformado de las piezas se aplicó estratificación manual, posteriormente se pulieron y pintaron las partes. Los resultados obtenidos fueron favorables debido a que el material presentó excelentes características mecánicas a los diferentes esfuerzos, reduciendo considerablemente la masa en un 41.95 %, con relación a la carrocería 2012 que sirvió como referencia, y que fue fabricada con fibra de vidrio y resina poliéster.

Palabras clave: Fórmula student; Fibra natural; Crin de caballo; Fibra vegetal; Cabuya

ABSTRACT

This work describes the development of a bodywork for the Student formula vehicle, using animal fiber (horsehair) and vegetable fiber (cabuya) as reinforcements joined to a polyester resin matrix. The behavior of the material to be used is analyzed by means of specimens combining the reinforcements in different layers and subsequently subjected to tensile, flexural and impact tests under ASTM standards. CAD software was used in the design of the bodywork to evaluate it under real aerodynamic conditions and determine the most appropriate geometry. Manual layering was used to form the parts, and then the parts were polished and painted. The results obtained were favorable because the material presented excellent mechanical characteristics to the different efforts, reducing considerably the mass in a 41.95 %, in relation to the 2012 body that served as reference, and that was manufactured with fiberglass and polyester resin.

Key words: Student formula; Natural fiber; Horsehair; Vegetable fiber; Cabuya

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma carroceria para o veículo de fórmula Student, usando fibra animal (crina de cavalo) e fibra vegetal (cabuya) como reforços unidos a uma matriz de resina de poliéster. O comportamento do material a ser utilizado é analisado por meio de tubos de ensaio que combinam os reforços em diferentes camadas e posteriormente submetidos a testes de tração, flexão e impacto sob as normas ASTM. O software CAD foi utilizado no projeto da carroceria para avaliá-la sob condições aerodinâmicas reais e para determinar a geometria mais adequada. Para a moldagem das peças, foram aplicadas camadas manuais, depois as peças foram polidas e pintadas. Os resultados obtidos foram favoráveis devido ao fato de o material apresentar excelentes características mecânicas sob as diferentes tensões, reduzindo consideravelmente a massa em 41,95%, em comparação com o corpo de 2012 que serviu de referência, e que foi fabricado com fibra de vidro e resina de poliéster.

Palavras-chave: Fórmula do estudante; Fibra natural; Crina de cavalo; Fibra vegetal; Cabuya; Crina de cavalo

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación ambiental es un problema por el cual se están preocupando el sector industrial en todo el mundo, entre ellas la automotriz. Un gran número de piezas y componentes automotrices que son reemplazados, ya sea porque cumplieron su vida útil o que se han roto, son arrojados en rellenos sanitarios sin tomar en cuenta que su proceso de descomposición es complejo. Algunos países dentro de los que se incluye a Ecuador, el sistema de reciclado no es muy eficiente, generando así un problema de contaminación cada vez más grande (Astudillo, 2010; y Bautista *et al.*, 2020).

Por tal razón, la tendencia mundial actual es la utilización de materiales amigables con el medio ambiente y de preferencia que sean biodegradables. Los investigadores e ingenieros se han visto obligados a realizar nuevos estudios buscando materiales más ecológicos, pero sin dejar de lado el análisis de los efectos que podrían acarrear el diseño y desarrollo de nuevos materiales. Es aquí donde las fibras naturales juegan un papel importante ya que aparte de presentar una buena resistencia mecánica también presentan un bajo peso, bajo costo y además son biodegradables, permitiendo así que las fibras naturales sean llamativas para las industrias (Adamian *et al.*, 2009; Baillie y Feinblatt, 2014; Callister y Rethwisch, 2007; y Mohanty *et al.*, 2005).

En Ecuador el desarrollo de materiales compuestos aún está iniciándose y por ello la extracción y el uso de fibras naturales aun es limitado, pero esto puede cambiar

si se considera el potencial del país para la producción de fibras naturales. A pesar de que algunas fibras si son aprovechadas como es el caso de fibra de cabuya y de abacá, otros casos como del coco solo se aprovecha la parte de la fruta y la parte fibrosa que compone al 80% se considera como desecho sólido (Chung, 2010; y Guerrero *et al.*, 2011).

La principal aplicación actual de materiales biodegradables y reforzados con fibras naturales se enfoca en envases, empaques y protección para alimentos. Sin embargo, se busca aplicarlos en el desarrollo de otras industrias como desarrollo de juguetes, bandejas o partes interiores para vehículos. En la industria automotriz se utiliza mucho los termoplásticos pero se busca que crezca el interés por los polímeros biodegradables reforzados con fibra natural ya que al final de su vida útil pueden ser enterrados y se degradaran, reduciendo el impacto ambiental (Nagaraja y Rekha, 2013; Bongarde y Shinde, 2014; y Caiza y Vilaña, 2015).

En algunos países de Europa se realiza investigaciones de biocompuestos con base en ácidos poliláctico (PLA) reforzados con fibra vegetal para la implementación en la industria automotriz para construir componentes como techos, porta vasos. En Japón por ejemplo la marca Toyota desarrollo una planta para la producción anual de 1000 toneladas de PLA para insertarlo en piezas en el interior del vehículo (Guerrero *et al.*, 2011; C.R.O., 2015; y Shubhra *et al.*, 2010).

Es por eso que Ecuador debe considerar seriamente el procesamiento de fibras naturales ya que eso le permitirá estar

presente en la investigación y desarrollo de biotecnología ya que el país en la agroindustria desecha muchas fibras a las que se les podría dar otro uso como la producción de polímeros biodegradables. La aplicación del crin de caballo como refuerzo garantiza que los componentes fabricados con este tipo de fibra natural, tengan propiedades mecánicas muy altas pero que son más económicas, bajo peso, abundante en la naturaleza y sobre todo amigables con el ambiente (Bautista y Mena, 2018).

MÉTODO

Materiales y construcción de las probetas

Para el desarrollo de la carrocería del vehículo, se utilizó resina poliéster con un refuerzo de cabuya y cerdas de caballo, en diferentes combinaciones de capas, buscando la combinación que ofrezca mejor resistencia a los esfuerzos. Estos materiales fueron trabajados por estratificación manual y posteriormente se colocó unas placas para aplicar presión. También se controló

parámetros como el tiempo de curado y las proporciones de cobalto, meck y estireno para así reducir fallas en las probetas y posteriormente en la estructura (Ashby, 2011; Bautista y Mena, 2018; Celi y Jaramillo, 2013; y F.S.G., 2017).

La resina usada fue de marca Sintapol, comercializada por Pintulac, esta es una resina poliéster de alta viscosidad pero con buen balance entre dureza y flexibilidad. Presenta reacción exotérmica moderada que evita distorsiones por exceso de calor, permite la aplicación de varias capas de resina y refuerzo favoreciendo la optimización en el consumo de materiales (Levy, 2006; y PINTULAC, 2017).

Los materiales de refuerzo como la cabuya tejida fueron obtenidos en el mercado Santa Clara al norte de Quito y la cerda de caballo se la obtuvo en el sector de Guangopolo al este de la misma ciudad. Para los ensayos se desarrollaron cinco grupos de probetas y se designaron con los nombres que se pueden ver en la *Tabla 1*, dependiendo de las combinaciones realizadas.

Tabla 1. Grupos desarrollados y su denominación.

Grupo	Característica
Re	100% resina poliéster
Ce1	Matriz con refuerzo de 1 capa de crin de caballo como tejido plano
Ce2	Matriz con refuerzo de 2 capas de crin de caballo como tejidos planos
Ce3	Matriz con refuerzo de 3 capas de cerda de caballo como tejidos planos
M2	Matriz con refuerzo de 2 capas de cerda de caballo y 1 capa intermedia de fibra de cabuya como tejidos planos

Para preparar las probetas de tracción se usó la norma ASTM D3039/D3039M-17 que establece las especificaciones dimensionales

que se muestran en la *Figura 1-a*. El número de probetas que se desarrollaron fueron 5 para cada grupo (ASTM, 1992).

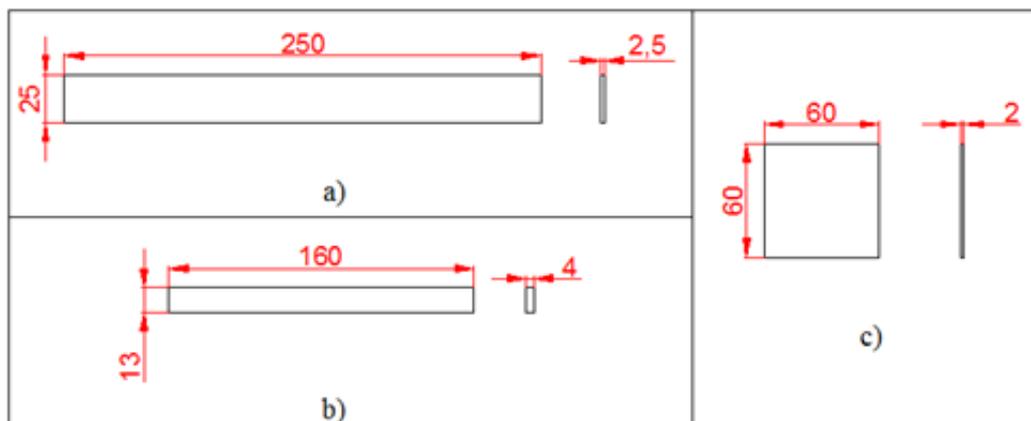


Figura 1. Especificaciones para probetas de tracción, flexión e impacto, en milímetros.

Para las probetas de flexión se usó la norma ASTM D7264/D7264M-15 que establece las especificaciones dimensionales tal como se ilustra en la *Figura 1-b*. El número de probetas que se desarrollaron fueron 5 para cada grupo, igual que en las de tracción. En las probetas de impacto se usó la norma ASTM D5628-10 que establece las especificaciones dimensionales ilustradas en la *Figura 1-c*. El número de probetas que se desarrollaron fueron 20 para cada grupo (ASTM, 2007).

Preparación de las probetas

Para el desarrollo de las probetas para los diferentes ensayos bajo norma ASTM D3039 para tracción, ASTM D7264 para flexión y ASTM D5628 para impacto, se utilizaron diferentes materiales en la matriz poliéster. Se pueden adquirir fácilmente en el mercado ecuatoriano y se encuentran detallados en la *Tabla 2*.

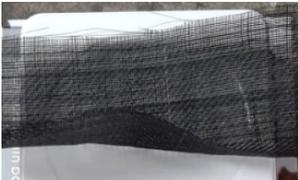
Tabla 2. Materiales utilizados en la matriz poliéster.

Ítem	Descripción
Meck Peroxido	60 cc de la marca Trex S.A es un catalizador para resina poliéster.
Octoato de cobalto	60 cc al 12% de la marca Trex S.A es el acelerador.
Resina Poliéster	1 Kg es el compuesto principal de la matriz poliéster y es de color amarillo trasparente.
Estireno	1 Kg de color trasparente ayuda a que la resina poliéster a diluirla.

Las fibras naturales vegetal y animal utilizadas como refuerzos para la matriz poliéster están detallados en la *Tabla 3*. Antes

de tejer y realizar el mallado manual con las diferentes fibras se lava para extraer todas las impurezas de los mismos.

Tabla 3. Materiales utilizados como refuerzo.

Ítem	Descripción	Gráfico
Cabuya	Elemento de fibra vegetal utilizado como refuerzo y de manera tejida para la matriz poliéster	
Crin de caballo	Elemento de fibra animal utilizado como refuerzo y de manera tejida para la matriz poliéster	

Para la elaboración de la matriz poliéster es necesario conocer las cantidades de cada material que conforman las mismas. Se tomó como referencia proporciones de resina, estireno, octoato y meck establecidas para este tipo de materiales (Guerrero *et al.*, 2011).

Para constituir las probetas primero se verifica que los moldes no contengan impurezas y se procede a la colocación de antiadherente. A continuación, se aplican tres capas de cera desmoldante con intervalos de

secado de cinco minutos, tanto el en moldes como en las tapas. Se deposita la mezcla en el molde *Figura 2-a*, esperando cinco minutos para que cambie a un estado casi gelatinoso para proceder a cubrir el molde con su respectiva tapa. Se comprime la mezcla utilizando una prensa hidráulica tal como se muestra en la *Figura 2-b*, para lo cual se coloca planchas de metal tanto en la base del molde y sobre la tapa para evitar que se dañe el molde por la presión de la prensa.

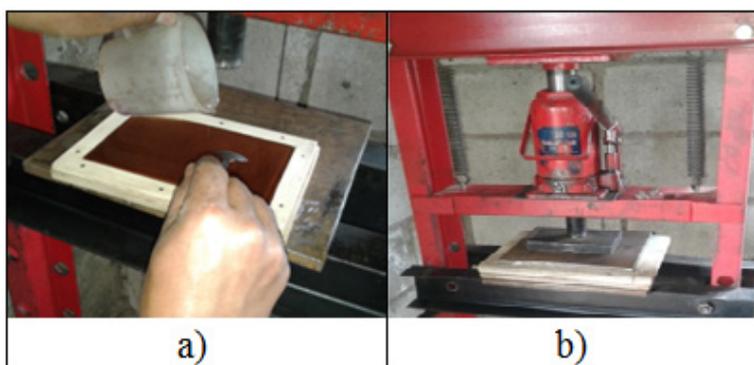


Figura 2. Colocación matriz poliéster sin refuerzo en el molde.

Después del tiempo de curado de tres días, se procede a extraer las matrices poliéster con refuerzo y sin refuerzo de sus moldes. A continuación, se inspecciona que las matrices no contengan residuos de madera y se verifica el espesor. Si excede el espesor se lo reduce utilizando una lijadora manual, dejando las matrices con el espesor deseado y listas para proceder al corte. Para obtener

las probetas con su geometría respectiva, se opta por recurrir al corte láser por la mayor precisión en las medidas. Una vez terminadas las probetas, tal como se muestra en la *Figura 3*, se someterán a los diferentes ensayos de tracción, flexión e impacto para obtener resultados que permitan seleccionar la mejor combinación de refuerzos para la construcción de la carrocería (LANUM, 2018; y Páez, 2007).



Figura 3. Obtención final de las probetas para los ensayos.

Diseño de la geometría de la carrocería

La carrocería, es la parte del vehículo en la que se apoya el bastidor y que lleva en su interior al conductor, los pasajeros y la carga. La carrocería también alberga el motor y los diversos componentes que conforman el vehículo. Mediante la ayuda del software CAD, se procede a modelar diferentes geometrías de la carrocería del vehículo fórmula Student. Se realiza el análisis de la estructura y se valida la mejor opción antes de comenzar con la etapa de construcción (F.S.G., 2017; y Nielsen, 2005).

La parte frontal de la carrocería es la encargada de abrir paso al vehículo a través

del aire, el cual debe fluir adecuadamente sobre la misma. Para diseñar las alternativas de la parte frontal se tomó en consideración la geometría del bastidor del vehículo. En la *Figura 4-a*, se muestra un modelo frontal redondeado en su parte superior, laterales planos y parte delantera recta. En la *Figura 4-b*, se ilustra un modelo frontal redondeado en todo su contorno, y semicircular en la trompa. En la *Figura 4-c*, se ilustra un modelo frontal redondeado en la parte superior y los laterales y con una inclinación en la parte delantera.

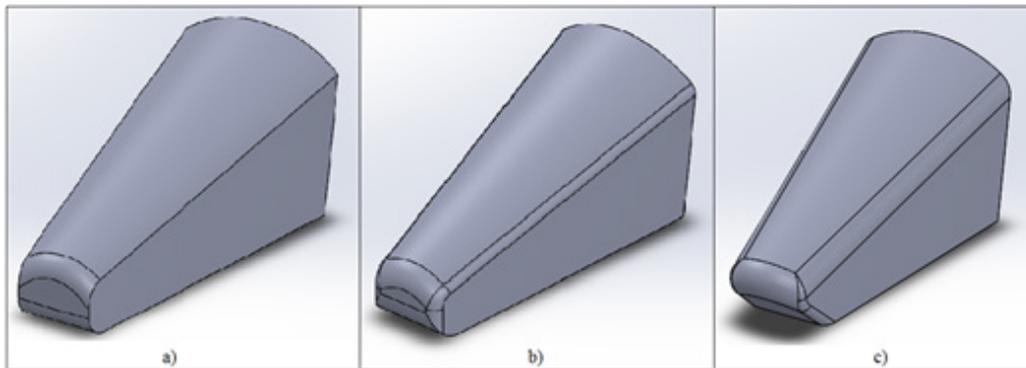


Figura 4. Opciones de diseño de la parte frontal.

Para evaluar cada una de las alternativas de diseño de la geometría de la parte frontal de la carrocería, se considera criterios de aerodinámica. Los parámetros aerodinámicos considerados son la velocidad de circulación del aire y la presión de contacto generada con el aire. Se determina que la alternativa de la *Figura 4-c*, presenta mejores condiciones

aerodinámicas en comparación con los resultados de los dos modelos restantes. Mediante la *Figura 5*, se muestran los resultados de valores de la velocidad máxima de circulación del aire de 45.10 m/s, siendo el segundo valor más alto; y una presión de contacto generada con al aire de 663.84 Pa, siendo el valor más bajo.

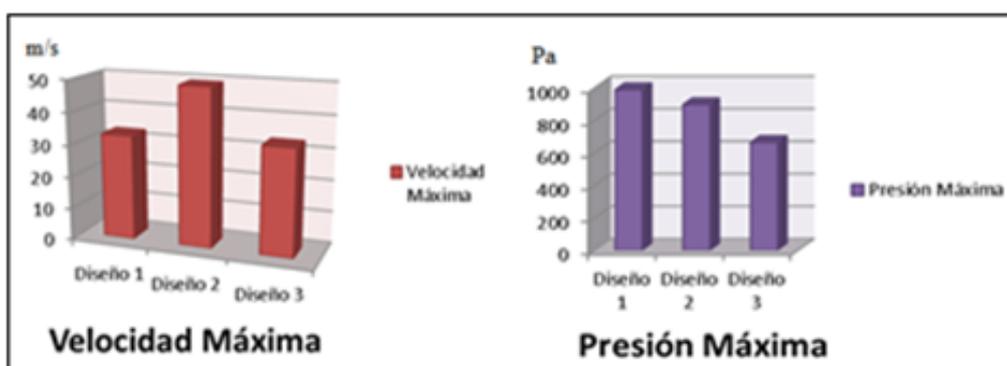


Figura 5. Resultado del análisis aerodinámico de la parte frontal del modelo seleccionado.

Los pontones son utilizados para dirigir el flujo de aire, contribuyendo a tener eficiencia aerodinámica y direccionando el flujo de aire al sistema de refrigeración si es necesario. En el diseño de las alternativas de los pontones se consideró la ubicación de la ECU, para que no exista contacto entre esta y la carrocería. También se tomó en cuenta la posición del radiador para mejorar la refrigeración del motor. En la *Figura 6-a*, se muestra un modelo de pontón en el que la parte trasera cubre

al radiador, y tiene una sección pequeña para redireccionar el flujo de aire con una inclinación en la entrada. En la *Figura 6-b*, se ilustra un modelo en el cual, el área para redireccionar el flujo de aire es más extensa y semicilíndrica, cubriendo también al radiador. En la *Figura 6-c*, se ilustra un modelo que tiene una sección pequeña para redireccionar el flujo de aire, abarca el radiador y no posee inclinación en la entrada.

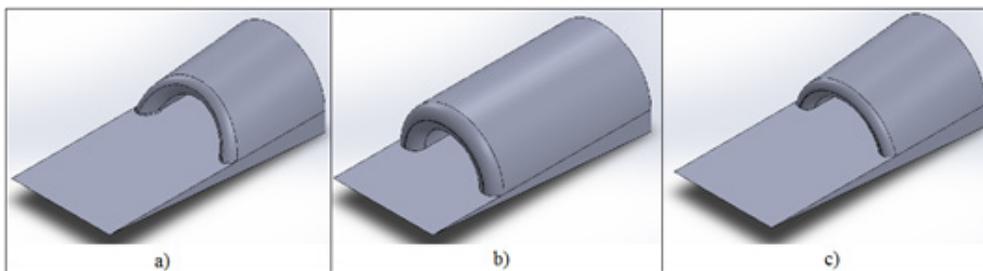


Figura 6. Opciones de diseño de los pontones.

Como en el caso de la parte frontal de la carrocería, para evaluar cada una de las alternativas de diseño de la geometría de los pontones de la carrocería, se consideran los mismos criterios de aerodinámica. Se determina que la alternativa de la *Figura 6-a*, presenta mejores condiciones aerodinámicas

en comparación con los resultados de los dos modelos restantes. Mediante la *Figura 7*, se muestran los resultados de valores de la velocidad de circulación del aire de 28.49 m/s, siendo el valor más alto; y una presión de contacto generada de 270.17 Pa, siendo el valor más bajo.

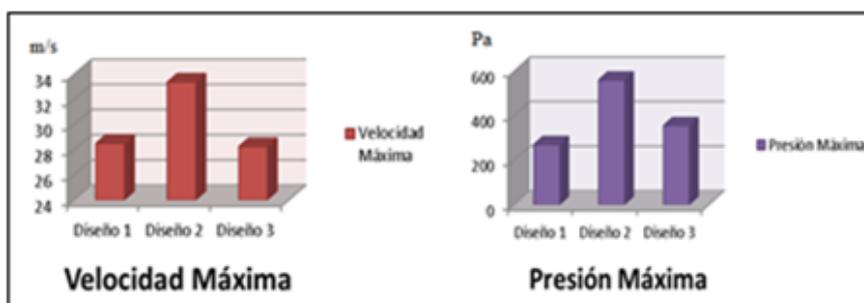


Figura 7. Resultado del análisis aerodinámico de los pontones del modelo seleccionado.

Construcción de los moldes y de las piezas con el material M2

Para iniciar con la fase de fabricación de la carrocería, se desarrolló los moldes en espumaflex (poliestireno expandido), como se

muestra en la *Figura 8*. Para evitar el daño la espumaflex al momento de depositar la resina directamente en el molde, se recubrió con dos capas de cinta de papel adhesivo las paredes del mismo.



Figura 8. Molde principal para la construcción de los moldes.

Terminados los moldes se coloca las capas de M2, después la resina y en las partes planas una plancha metálica. Se coloca una lámina plástica en las curvas para generar una presión que no permita que las capas se separen y generen vacíos. Una vez colocadas

las capas de M2, se dejar curar las piezas durante tres días, después de lo cual, se extrae la presión de las placas y se procede a colocar una capa muy fina de masilla para eliminar las rugosidades existentes en la pieza, como muestra en la *Figura 9*.



Figura 9. Curado de las capas y primera capa de masilla.

Una vez depositada la primera capa de masilla y esta se haya secado, se la retira el componente de los moldes. Con las piezas ya extraídas, se realizan los cortes para que encaje en la carrocería del vehículo. Para conseguir un acabado liso y eliminar las pocas

irregularidades existentes se pulió la pieza con lijas con tamaño de grano #36, #180 y #220 respectivamente. Al final del proceso de pulido se obtuvo el acabado de los componentes tal como se muestra en la *Figura 10*.



Figura 10. Componentes con las superficies pulidas.

Después de pulir se realiza una limpieza para eliminar todo el polvo producido durante el lijado, así como otras impurezas. A continuación, se procede a depositar una capa

de pintura base para después pulir con lija con grano #600 para conseguir un terminado lizo, como se muestra en la *Figura 11*.



Figura 11. Componentes con pintura base y lijadas.

A continuación, se deposita una capa de pintura precautelando que no se acumule en una misma zona, evitando la generación de burbujas o gotas. Transcurrido por lo menos dos horas se deposita una nueva capa de pintura que será la final, tomando en consideración los mismos parámetros al aplicar la primera

capa. Se deja secar preferentemente hasta el día siguiente para proceder a dar una capa de cera automotriz para abrillantar y proteger la pintura, obteniendo un acabado final de los componentes como el que se ilustra en la *Figura 12*.



Figura 12. Pontones y parte frontal de la carrocería terminados.

RESULTADOS

Después de la realización de los ensayos a las probetas con la geometría detallada anteriormente mediante la *Figura 1*, se presentan los resultados más relevantes. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Nuevos Materiales (LANUM) de la Escuela Politécnica Nacional, bajo todos los parámetros y condiciones descritos en la normativa ASTM.

En la *Figura 13-a*, se observan los resultados de los valores de la resistencia

última a tracción. En el grupo M2 hay un aumento de 49,12% y para el grupo Ce3 una reducción de 22,84%, los dos con respecto al grupo Re. En la *Figura 13-b*, se observan los valores del módulo de elasticidad. En el grupo M2 hay un aumento de 78,01% y para el grupo Ce1 un aumento de 7,40% los dos con respecto al grupo Re. En la *Figura 13-c*, se observa los valores de la deformación última a tracción. En el grupo M2 hay un aumento de 82,85% y para el grupo C23 una disminución de 45,71% los dos respecto al grupo Re.

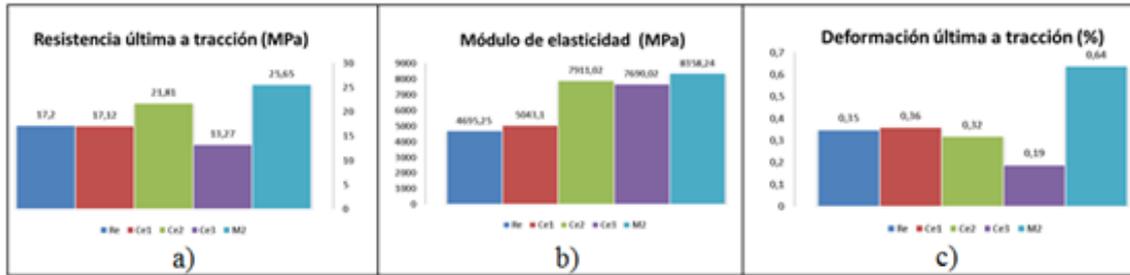


Figura 13. Resultados de ensayo de tracción.

Terminando los ensayos de tracción se concluye que el grupo M2, por sus características a tracción es el material adecuado. Esta combinación genera los valores más altos en: resistencia última a tracción, módulo de elasticidad y deformación última a tracción.

En la Figura 14-a, se muestra el resultado de los valores de la resistencia última a flexión. En el grupo Ce1 hay una reducción del 4,63% y para el grupo Ce3 una reducción de 27,19%

los dos con respecto al grupo Re. En la Figura 14-b, se observan los valores del módulo a flexión. En el grupo Ce3 hay una reducción de 2.65% y para el grupo Ce2 una reducción de 17.36% los dos con respecto al grupo Re. En la Figura 14-c, se observan los valores de la deformación máxima. En el grupo Ce1 hay un aumento del 21.05% y para el grupo Ce3 una reducción de 27,12% los dos con respecto al grupo Re.

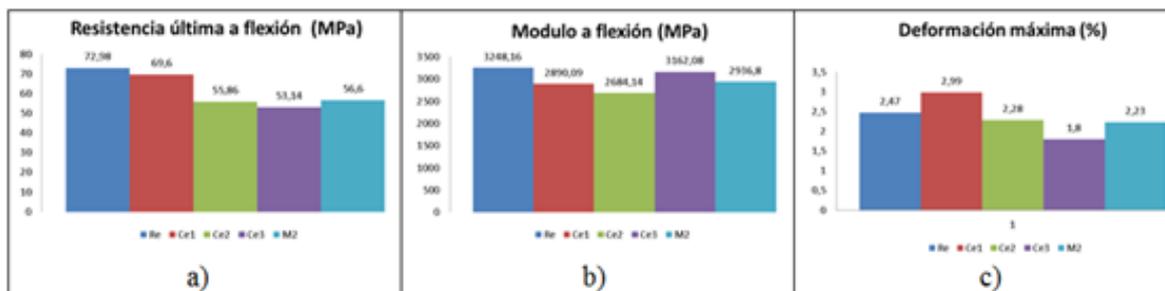


Figura 14. Resultados de ensayo de flexión.

Terminando los ensayos de flexión se concluye que el grupo Ce1 presenta mejores características en: resistencia última a la flexión y módulo a flexión. Se tiene un valor alto en la deformación máxima, siendo la segunda opción la combinación del grupo M2.

En la Figura 15, se muestra el resultado de los valores de la resistencia al impacto. El grupo M2 presenta la mayor absorción de energía entre los otros grupos. Hay aumento de 49,94% respecto a Re.

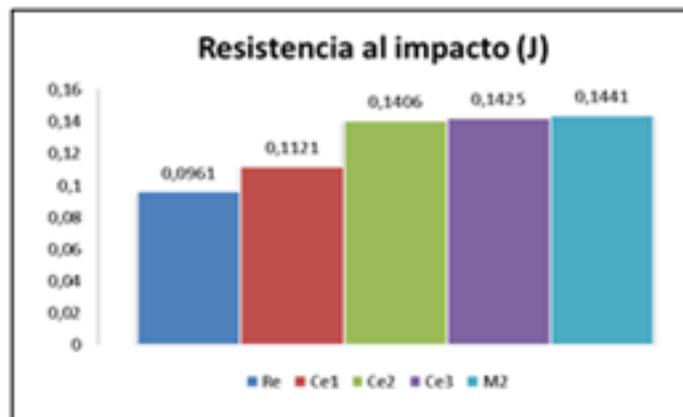


Figura 15. Resultados de ensayo de tracción.

Los resultados del análisis de los diferentes grupos de combinaciones de tejidos y capas de refuerzo de fibras naturales permitieron seleccionar el material con el que se construyó la carrocería. El grupo M2 presentó mejores características mecánicas a comparación de los demás grupos. La denominación M2 está constituida por una matriz con refuerzo de 2 capas de cerda de caballo y 1 capa intermedia de fibra de cabuya como tejidos planos.

Una vez construida la carrocería con el material de la denominación del grupo M2, mostrado en la *Figura 16*, es necesario comparar características del componente con versiones anteriores fabricadas con otros materiales. El nombre de la carrocería desarrollada, para referenciación y comparaciones, tiene la denominación de Cónдор 2018.



Figura 16. Ensamblaje final de la carrocería Cónдор 2018.

Para comprobar la optimización de la masa se realiza una comparación de la carrocería Cándor 2018 con los valores de carrocerías anteriores construidas para la misma competencia pero con otros materiales (Caiza y Vilaña, 2015).

Tabla 4. Comparación de las diferentes versiones Vehículo Formula Student.

Denominación / Modelo	Material	Masa total
COTOPAXI 1	Resina poliéster reforzado con fibra de vidrio y placas de aluminio de 2.2 mm	26.96 kg
COTOPAXI 2	Resina poliéster reforzado con fibra de vidrio y placas de aluminio de 1.8 mm en zonas estratégicas	23.36 kg
COLIBRI 2014	Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio y yute. Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio.	20.76 kg
CÓNDOR 2018	Resina poliéster con refuerzo de fibra de crin de caballo y cabuya.	13.562 kg

Mediante la *Tabla 4*, se compara los valores de otras versiones del vehículo fórmula SAE, donde se puede evidenciar que la carrocería Condor 2018 muestra una reducción considerable de su masa. La carrocería CONDOR 2018 reduce la masa con relación a COTOPAXI 1 (26.96 kg), un valor de 13.398 kg equivalente al 49.68 %; con relación a COTOPAXI 2 (23.36), un valor de 9.8 kg equivalente al 41.95 %; y con relación a COLIBRI 2014 (20.76 kg), un valor de 7.19 kg equivalente a 34.67 %.

CONCLUSIONES

El crin al ser una fibra muy lisa no presenta rugosidades, por ello no permite una interface de buenas características; por eso no hay valores más altos en los ensayos. Además, es difícil de moldearla con estratificación manual y se necesita presión para que las fibras no se separan.

El material compuesto por una matriz con refuerzo de 2 capas de cerda de caballo

y 1 capa intermedia de fibra de cabuya como tejidos planos, presenta el mayor valor de Resistencia última a la tracción y utiliza mayor energía media de fallo (EMF) en el ensayo de impacto, en comparación a las otras configuraciones (una, dos y tres capas) por lo cual fue seleccionado para el desarrollo de este proyecto. El material compuesto M2, permitió reducir la masa de la carrocería en un 41.95% con relación al modelo 2012 que se tomó como referencia.

Se puede usar fibras vegetales y animales producidas en Ecuador para el desarrollo de piezas automotrices, ayudando al medio ambiente ya que al ser biodegradables reducen el impacto ambiental. Para mejorar la interface se debe ensayar con un mayor número de agentes compatibilizantes, que permitan una mejor unión entra la matriz y el refuerzo.

La optimización de otros procesos de fabricación de material compuesto para el desarrollo de las probetas y la carrocería

son necesarios de incorporar a este tipo de aplicaciones, ya que la estratificación manual no permite que las fibras de cerda se junten adecuadamente y hay que aplicar un peso adicional. Además, se debe determinar los porcentajes más adecuados de resina, meck, cobalto y estireno para evitar un curado muy rápido del material y así conseguir que el refuerzo responda de mejor a la matriz.

Profundizar los conocimientos sobre a la fibra de crin, para encontrar la forma de tejido o no tejido, que permita aprovechar al máximo las propiedades de elongación para diferentes aplicaciones. Adicionalmente se debe lavar bien los tejidos de crin con materiales desengrasantes, que no dañen la fibra, eliminando así tipo de residuo de grasa y dejar secar bien para mejorar la interface.

REFERENCIAS

- Adamian R., Vasconcellos H., and Weisz J. (2009). *Novos materiais: Tecnologia e aspectos econômicos*. Editorial Coppe
- Ashby M. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. 5th Edition. Editorial Elsevier.
- ASTM, I. (1992). *Standard test method for impact resistance of flat, rigid plastic specimens by means of a falling dart (tup or falling mass)*. New York
- ASTM, I. (2007). *Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite*. New York
- Astudillo M. (2010). *Tecnología del automóvil*. Editorial Paraninfo.
- Baillie C., and Feinblatt E. (2014). "Ethical practices in the processing of green composites". *Natural Fibre Composites*. Vol. 1, p. 161 – 175. <https://doi.org/10.1533/9780857099228.2.161>
- Bautista C. y Mena P. (2018). *Investigación de materiales compuestos con fibra natural para la construcción de la carrocería del vehículo de competición Fórmula Student*. Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. Repositorio ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmli/handle/21000/14956?show=full>
- Bautista C., Mena P., Paredes M., y Paredes C. (2020). "Characterization of a Composite Material Consisting of a Polyester Resin Matrix with Reinforcement of Horsemane in Flat Tissue". *Materials Science Forum*, Vol. 995 (2020), p. 49-55. <http://www.scientific.net/MSF.995.49>
- Bongarde U. and Shinde V. (2014). "Review on natural fiber reinforcement polymer composites". *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, Vol. 3. http://www.kompozit.org.tr/wp_content/uploads/2020/11/ISSN_2319_5967_ISO_9001_2008_Certified-1.pdf
- Caiza V., y Vilaña J. (2015). *Diseño, simulación, optimización y construcción de una carrocería de un vehículo tipo formula SAE*. Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. Repositorio ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/9415>
- Callister W., and Rethwisch D. (2007). *Materials Science and Engeneering: An introduction*. Editorial Reverté.
- Celi J., y Jaramillo E. (2013). *Diseño y contrucción del chasis y carrocería del vehículo de competencia fórmula SAE 2012*. Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. Repositorio ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6131?show=full>
- Chung D. (2010). *Composite Materials: Science and Applications*. Editorial Springer.
- C.R.O. (2015). *Los materiales para fabricar carrocerías de automóviles*. Recuperado de <http://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/carroceria/los>

- materiales-para-fabricar-carrocerias-de-automoviles/ (accedido el 03/09/2017).
- F.S.G. (2017). *Rules & Important Documents*. Recuperado de <https://www.formulastudent.de/fsg/rules/> (accedido el 17/08/2017).
- Guerrero V., Dávila J., Galeas S., Pontón P., Rosas N., Sotomayor V., and Valdivieso C. (2011). *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*. Editorial Imprefepp.
- LANUM (2018). *Análisis, procesamiento y evaluación de materiales*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Levy F. (2006). *Compósitos estruturais: Ciência e tecnologia*. Editorial Edgard Blücher.
- Mohanty A., Manjusri M., y Lawrence D. (2005). *Natural fibers, biopolimers and biocomposites*. Editorial CRC Press.
- Nagaraja B. and Rekha B. (2013). "A comparative study on tensile behaviour of plant and animal fiber reinforced composites". *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 2. <http://www.issr-journals.org/ijias/>
- Nielsen L. (2005). *Composite Materials: Properties as Influenced by Phase Geometry*. Editorial Springer.
- Páez, J. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Repositorio EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/352>
- PINTULAC. (2017). *Catálogo y características de productos*. Recuperado de <https://www.pintulac.com.ec/resina-poliester-transparente-sintapol?c=99c01035afc4a98d6d428fcf29a7a9ee> (accedido el 27/11/2017).
- Shubhra Q., Alam A., Gafur M., Shamsuddin S., Khan M., Saha M., Saha D., Quaiyyum M., Khan J. and Ashaduzzaman M. (2010). "Characterization of plant and animal based natural fibers reinforced polypropylene composites and their comparative study". *The Korean Fiber Society*, vol 11. <https://doi.org/10.1007/s12221-010-0725-1>