

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASIENTO ERGONÓMICO EN FIBRA NATURAL APLICADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH

William Manotoa, Héctor García

Facultad de Mecánica, ESPOCH, Riobamba, Ecuador
willy.vin1166@hotmail.com, hega1510@outlook.com

RESUMEN

El presente trabajo de titulación está basado en la aplicación de las normas SAE internacionales pertenecientes a la fórmula estudiantil para la manufactura de un asiento y cortafuegos ergonómico destinado a un vehículo de competencia fórmula SAE para integrar a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH a dicha competencia en los siguientes años. El desarrollo del asiento y cortafuegos conlleva una serie de parámetros y normas internacionales a considerar. Todos estos parámetros como la ergonomía, antropometría, estructura de los vehículos, materiales, procesos y sobre todo uso de las normas SAE, se han aplicado a un modelo computacional, por medio del uso de herramientas informáticas, empleando el método de tensión plana, permitiendo establecer un diseño y análisis estructural adecuado a las condiciones de la competencia. Para manufacturar el asiento y cortafuegos, se consideraron varias opciones de procesos tales como el quick and dirty y mock-up. No obstante, el uso de fibras naturales como refuerzo del material compuesto se predefinió anteriormente. Uno de los objetivos principales consistió en disminuir tanto el peso de los elementos diseñados, el costo de materiales y procesos de manufactura. Al término del proceso de manufactura y de acuerdo con los datos obtenidos del análisis computacional, se concluyó que el elemento podía suministrar el grado de seguridad necesaria para el usuario, además de aportar con el confort necesario. Debido al tiempo requerido y tecnología adecuada, factores como el aerodinámico no se ha tomado en cuenta sobre el asiento y cortafuegos, pero se establece un precedente para proyectos posteriores relacionados al mejoramiento en el desempeño del vehículo FSAE.

Palabras clave: Diseño asistido por computadora (CAD), Ingeniería asistida por computadora (CAE), Tecnología del diseño, Trabajo en materiales, Ergonomía aplicada asientos, Antropometría en el diseño, procesos de manufactura, Fibras naturales.

ABSTRACT

The present work of degree is based on the application of the standards Society of Automotive Engineers International (SAE) belonging to the student formula for manufacture of a seat and ergonomic firewall intended for a competition vehicle, formula SAE for integrate to Automotive Engineering career of the Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH) of such competition in the following years. The development of the seat and firewall involve a series of international parameters and standards to consider. All these parameters such as ergonomics, anthropometry, vehicle structure, materials, processes and use of (SAE) standards have been applied to a computational model, through the use computing tools, using the flat tension method by allowing to establish a design and analysis structural adequate to the conditions of the competition. To manufacture the seat and firewall, several processing options were considered, such as quick dirty and mock-up. However, the use of natural fibers as reinforcement of the composite was pre-defined above. One of the main objectives consisted in reduce both the weight of the elements designs, the cost of materials and manufacturing processes. At the end and the manufacturing process and according the data obtained from computational analysis, it was concluded that element could provide necessary degree of security for user, besides providing with necessary comfort. Due to required time and suitable technology, factors such as aerodynamics haven't been taken in to account over seat and firewall, but a precedent is set for later projects related to improving the performance on the vehicle. Formula Society of Automotive Engineers (FSAE).

KEY WORDS: Computer – aided design (CAD), Computer – aided engineering (CAE), Design technology, Materials work, Applied ergonomics seats, Anthropometry in design, Manufacturing processes, Natural fibers.

1. INTRODUCCIÓN

La Fórmula SAE que se creó en Michigan, Estados Unidos, es una de las competencias más prestigiosa a nivel mundial, en la cuales diversas instituciones de educación superior en conjunto con sus carreras de Ingeniería Automotriz se encuentran participando.

Estos tipos de eventos y competencias aportan a las instituciones, que en ella participan, de prestigio y reconocimiento, por lo que tanto estudiantes y profesores se ven involucrados más íntimamente para llegar al objetivo de participar en dicha fórmula estudiantil.

En el Ecuador existen un par de universidades que se encuentran participando anualmente en este tipo de competencia, ya que los costos tanto del monoplaza y de la participación en los eventos de la FSAE son muy elevados.

El compromiso de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH ha sido convertirse en un participante más de la competencia FSAE en los siguientes años. Sin embargo, para lograr dicho objetivo, el proyecto de diseño y construcción del asiento y firewall para el vehículo monoplaza se ha de desarrollar teniendo como bases principales el uso de material natural, diseños ergonómicos, validación del diseño mediante el uso de elementos finitos y la aplicación de las normas SAE vigentes.

2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

2.1 Análisis para la elaboración de asientos ergonómicos en vehículos de competencia

Los asientos destinados para competencia generalmente se construyen bajo normas estrictas y materiales de excelente calidad que se deben acatar para su uso en vehículos y permitir un rendimiento adecuado del piloto, asegurando tanto el confort y funcionalidad.

2.2 Accidentes producidos por vehículos de competencia durante la conducción

Los accidentes en los vehículos pueden ser diversas clases, pero en cuanto al vehículos de competencia los más importantes son: la colisión y choque, los cuales se desarrollan de forma frontal longitudinal, excéntrico, lateral

angular y perpendicular, volcamiento lateral y longitudinal.

2.3 Lesiones producidas en las personas durante los ciclos de conducción en pistas de competición

Por el proceso de desaceleración y condiciones de manejo durante el ciclo de la competencia, la mitad inferior del cuerpo es lanzada hacia adelante, luego, todo el cuerpo regresa a su posición inicial y el cuello sufre traumatismos que pueden generar daños en los conductores. Las lesiones más frecuentes son:

- Traumatismo de cabeza.
- Traumatismos en el cuello.

2.4 Fórmula SAE

La fórmula SAE es una competencia estudiantil en la cual participan diferentes universidades de alrededor del mundo cada año. Este tipo de competencia está regulada por una serie de normas dictada por la SAE que se actualiza periódicamente.

Consideraciones técnicas del asiento ergonómico según la FSAE 2015

El asiento y firewall, al igual que el resto de componentes del monoplaza están sujetos a restricciones para garantizar su correcto desenvolvimiento durante las pruebas de pista. Las restricciones a las cuales están sujetos los elementos son tanto geométricas, que hace referencia a la ubicación del resto de sistemas del vehículo y como intervienen en el diseño del asiento y firewall, además de las restricciones de fabricación, que determinan la exactitud y calidad de los elementos manufacturados basados en la tecnología utilizada.

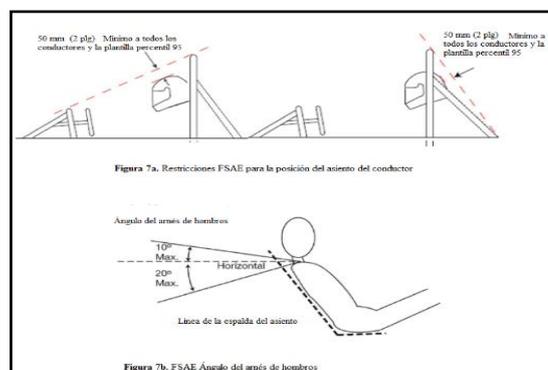


Figura 1. Restricciones FSAE del asiento

2.5 Ergonomía y Antropometría

La ergonomía y antropometría son dos conceptos que se utilizan al diseñar un elemento, por un lado, ergonomía viene a ser el estudio científico de las relaciones entre el hombre y su medio ambiente laboral, mientras que la antropometría es el estudio en concreto las medidas y proporciones del ser humano.

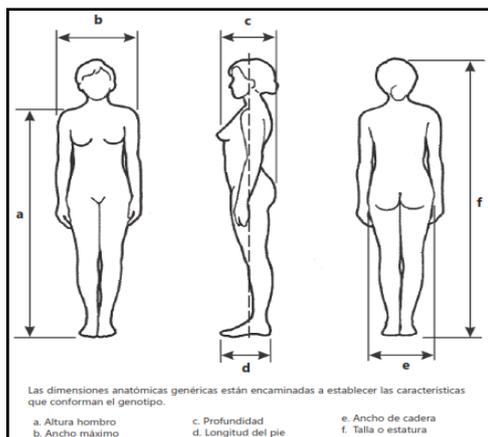


Figura 2. Medidas anatómicas generales

Por lo tanto, para poder obtener un buen diseño del asiento y firewall se aplican estos dos conceptos que sumado a las restricciones de la norma SAE, dan como resultado un diseño adecuado, confortable y apto para el correcto desempeño del piloto.

Diseño automotriz

El diseño centrado en el usuario está en aumento en todas las áreas de diseño automotriz que considera los diversos problemas ergonómicos. Además, debido al interés que genera el conocimiento de las dimensiones humanas y los factores que intervienen en el desarrollo óptimo de las actividades y funciones, la antropometría se ha convertido en una ciencia indispensable para el desarrollo de objetos y espacios que cumplan con requerimientos específicos.

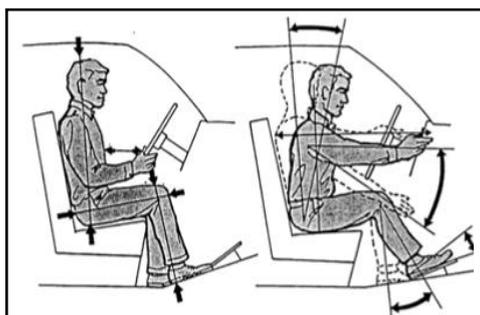


Figura 3. Diseño del entorno del conductor

2.6 Fibras naturales

Las fibras naturales son sustancias alargadas extraídas de plantas y animales, que se pueden hilar para obtener hebras, hilos o cordelería para el uso industrial. Los textiles elaborados por fibras naturales han sido parte fundamental de la vida humana desde sus inicios, usándose cada vez más con propósitos industriales como elementos de materiales compuestos, en implantes médicos, en geotextiles, agrotexiles y en el sector automotriz.

Fibra de cabuya

Esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya (*Furcraea Andina*), la misma que es una planta originaria de la región andina que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas, pertenece a la familia de las agaváceas. Según datos obtenidos por el MAGAP, la producción de cabuya en el Ecuador se da en la región central interandina perteneciente a las provincias de Chimborazo, Cotopaxi y Tungurahua.

Entre las propiedades y características mecánicas que presenta la fibra de cabuya esta una excelente resistencia mecánica, que además de ser liviano posee una densidad de 1,3 g/cm³. La cabuya es una fibra valorada por el uso cordaje debido a su resistencia, durabilidad y su textura áspera.

Resistencia a la tracción	305 (MPa)
Resistencia al corte	112 (MPa)
Módulo de elasticidad	7,5 (MPa)
Elongación a la fractura	5 %
Densidad	1,3 g/cm ³

Tabla 1. Características mecánicas de la fibra de cabuya

2.7 Resinas

La resina es una sustancia de tipo pastosa o sólida que se obtiene de manera natural a partir de una segregación orgánica de ciertas plantas tipo coníferas, que, gracias a sus propiedades químicas, pueden ser utilizadas para la elaboración de perfumes, adhesivos, barnices y

aditivos alimenticios, entre otros productos para el uso ya sea industrial o doméstico.

Las resinas también pueden ser de origen sintético que toman como base las naturales, que al agregar sustancias químicas mejoran sus propiedades como: alta resistencia al calor, excelentes propiedades de adhesión, buena resistencia eléctrica, excelente resistencia química., dando lugar a resinas naturales y resinas sintéticas.

La resina poliéster es una de las más empleadas en la industria, ocupan un 90% del consumo industrial entre las matrices termoestables y, dada sus características, son las más utilizadas en la construcción de materiales compuestos.

3. METODOLOGÍA

A continuación, se analizan los distintos procesos realizados, desde el método de fabricación de moldes hasta el tipo de estudio realizado al diseño CAD, para lograr materializar el asiento y firewall FSAE.

3.1 Modelos a escala “quick and dirty”

Los modelos quick and dirty son recursos frecuente mente usados tanto en la industria como en los proyectos de estudiantes de diseño automotriz para obtener información de forma rápida y de un nivel de exactitud aceptable, para resolver el diseño actual o informar acerca del desarrollo en CAD o modelos físicos, para ser usados en métodos formales. Los modelos a escala permiten examinar los problemas concernientes al asiento y los rangos de modificación de la dirección de las ruedas, ingreso/egreso y la visibilidad hacia la parte posterior. Los sujetos de prueba son aquellos que resulten adecuados y que cumplen los requerimientos de la norma FSAE.



Figura 4. Manufactura del mock-up del asiento en espuma de poliuretano

3.2 Manufactura del asiento y firewall

Los métodos para la construcción de elementos plásticos con fibras sintética o natural se dividen en 2 tipos que son los de molde cerrado y molde abierto.

Existen numerosos procesos para el método de molde cerrado, entre los más comúnmente utilizados están los de moldeado por compresión e inyección, laminar de compuestos, y continuo de pultrusión. No obstante, aunque las ventajas de estos procesos en la industria automotriz son muchas, los mismos son aplicados para obtener una mayor eficiencia en cuanto producción en gran volumen se refiere.

El método de molde abierto consiste en 4 diferentes procesos los cuales son el de unión manual, pulverizado, bobinado de filamentos, y embolsado al vacío y autoclave. No obstante, se ha decidido seleccionar el proceso por unión manual, ya que es el más sencillo para construir elementos con fibras como material de refuerzo, constando básicamente de 3 etapas que son:

- Impregnación



Figura 5. Mock-up del asiento recubierto con gel antiadherente

- Laminado



Figura 6. Mock-up del asiento recubierto con resina poliéster y fibra natural de cabuya

- Solidificación del material compuesto



Figura 7. Asiento extraído desde el mock-up

3.3 Análisis por elementos finitos del asiento y firewall

El método de elementos finitos ha permitido realizar un modelo matemático de cálculo del comportamiento del sistema asiento-firewall ante un conjunto de fuerzas, presiones, momentos, etc., que eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales.

El análisis estático aplicado se caracteriza por determinar el comportamiento del elemento cuando se aplican cargas actuantes externas que permanecen constantes. Dicho estudio calcula esfuerzos, desplazamientos, deformaciones y factores de seguridad generados por las cargas aplicadas.

Se utiliza el software Ansys 16.1 para aplicar el método de tensión plana definido como un estudio simplificado sobre un elemento diseñado en 3D, utilizando un modelo plano 2D cuando una de las tres cotas que definen la pieza es mucho más pequeña que las otras dos. Las cargas aplicadas están contenidas en el plano que definen las dos dimensiones que predominan en la pieza y en este tipo de problemas se ignora una de las tensiones principales para que el estado de tensiones sea bidimensional.

Las ventajas al utilizar este tipo de análisis es que los modelos 2D requieren menos elementos de mallado y las condiciones de contorno son más simples en comparación con los modelos 3D. las cuales son calculadas considerando la geometría del asiento y las propiedades del material compuesto utilizado.

Las fuerzas asignadas para el estudio del diseño CAD se muestran a continuación:

- Fuerza de frenado

$$F_f = 1113,35 \text{ N}$$

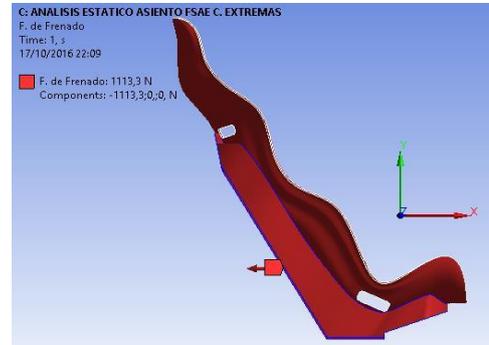


Figura 8. Asignación de fuerza de frenado

- Fuerza centrífuga

$$F_{cx} = 838,42 \text{ N}$$

$$F_{cy} = 29,28 \text{ N}$$

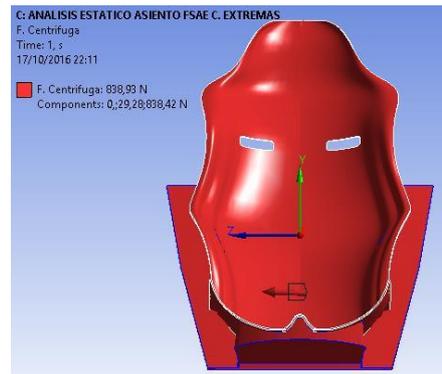


Figura 9. Asignación de la fuerza centrífuga

- Peso del piloto

$$W_a = 566,53 \text{ N}$$

$$W_e = 981,25 \text{ N}$$



Figura 10. Asignación del peso del piloto

- Presión ejercida por el piloto

$$P_e = 1347,69 \frac{N}{m^2}$$

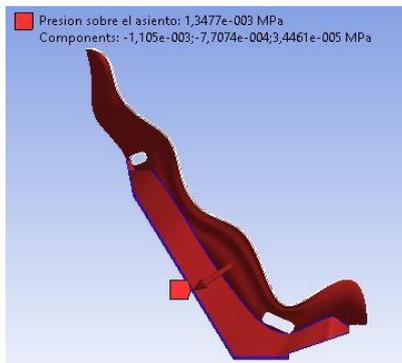


Figura 11. Asignación de la presión ejercida por el piloto

- Momento de torsión

$$M_{txFc} = 410,82 \text{ N.m}$$

$$M_{tyFc} = 10,84 \text{ N.m}$$

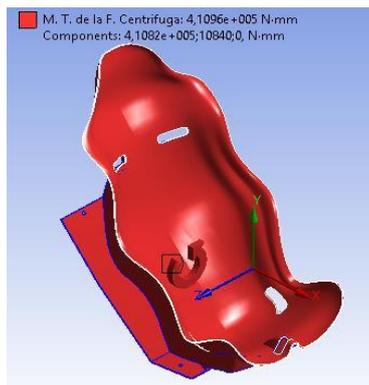


Figura 12. Momento de torsión generado por la fuerza de frenado

- Momento de flexión

$$M_{F_f} = 411,94 \text{ N.m}$$

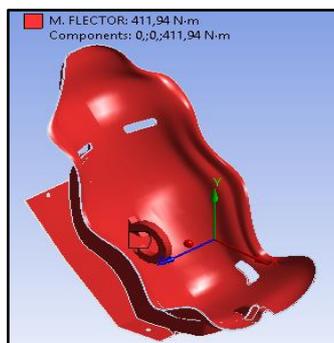


Figura 13. Momento de flexión generado por la fuerza de frenado

- Temperatura externa del motor

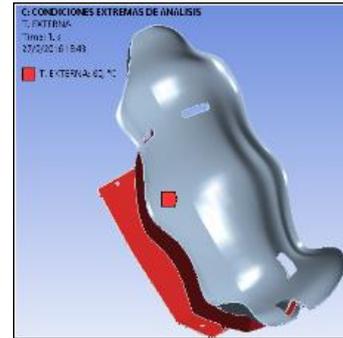


Figura 14. Temperatura externa producida por el motor

4. RESULTADOS

El análisis del diseño 3D se realiza utilizando el software Ansys Workbench, que permite la asignación de fuerzas actuantes sobre el conjunto asiento-firewall. Los resultados obtenidos al termino del análisis respaldan el diseño computacional de los elementos, los mismos se muestran a continuación:

- Deformación total

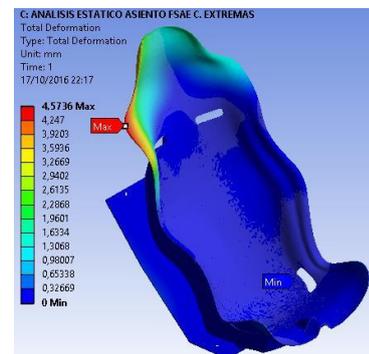


Figura 15. Deformación total en el asiento FSAE

- Esfuerzo de Von Misses

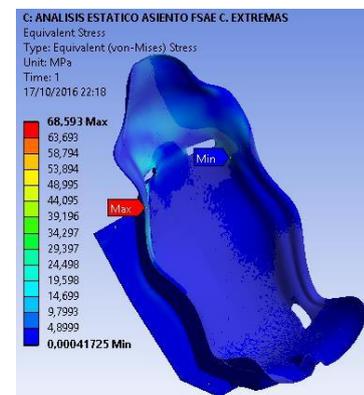


Figura 16. Esfuerzo de Von Misses sobre el asiento FSAE

- Esfuerzo máximo

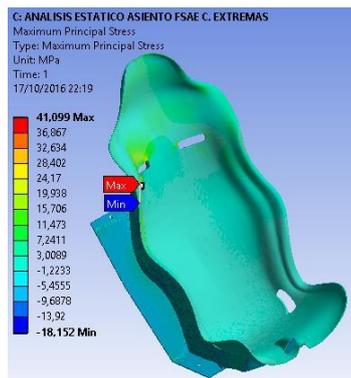


Figura 17. Esfuerzo máximo sobre el asiento FSAE.

- Factor de seguridad

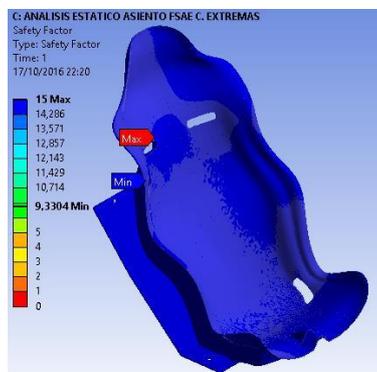


Figura 18. Factor de seguridad sobre el asiento FSAE.

5. CONCLUSIONES

Se recopiló información de normas vigentes para el diseño y construcción de un asiento ergonómico y firewall, este trabajo se basa en la normativa Fórmula SAE 2014, para obtener un diseño adecuado que cumpla con las exigencias ergonómicas y antropométricas del conductor en función del estado actual del arte.

Se realizó el diseño del asiento ergonómico y firewall que permita el confort y cumpla con las restricciones de la Fórmula SAE. Con la utilización del software SolidWorks 2015 se obtuvo el diseño del conjunto ergonómico, aplicando las herramientas de superficies complejas correspondientes para un correcto modelado y mediante el análisis estructural realizado por Ansys Workbench 17.1 las geometrías de nuestro diseño generaron deformaciones totales máximas de 4,5736 mm ubicado en la parte superior del asiento ergonómico. El valor máximo de la tensión es de 68,593 MPa en la sección donde aloja a los hombros, además el esfuerzo máximo obtenido

en la simulación es de 41,099 MPa el cual está ubicado cerca de los agujeros para el arnés de seguridad, se determinó que el esfuerzo máximo es aceptable y el factor de seguridad de 15 a 9,3304 dicho valor permite validar el diseño para posteriormente ser construido.

Se construyó el asiento ergonómico utilizando materiales compuestos reforzado con fibra de cabuya debido a las propiedades mecánicas que genera y procedimientos adecuados para la construcción del Mock Up para el asiento ergonómico y firewall, construcción de los moldes correspondientes en espuma de poliuretano reforzados con yeso, construcción de la matriz y por último la manufactura del asiento ergonómico y firewall en fibra natural que garanticen un correcto desempeño del piloto dentro de una pista y cumpla con los requerimientos FSAE.

BIBLIOGRAFÍA

ASKELAND, D. *Ciencia e Ingeniería de materiales.* 3^{ra} ed. México-México: International Thomson, 1998. pp. 517-535.

BAUTISTA, Andrés. *Manual de ergonomía.* México-México: Khulsey, 2002. pp. 3-11.

BESEDNJAK, A. *Materiales compuestos, Proceso de fabricación de embarcaciones.* Barcelona-España: UPC, 2005. pp. 19-32.

BHISE, Vivek D. *Ergonomics in the Automotive Design Process.* New York-USA: CRC Press, 2011. pp. 3-28.

CEIT., *Criterios de convergencia.* [En línea]. [Consulta: 08 de Julio de 2016]. Disponible en: <http://www.ceit.es/asignaturas/estructuras2/criterios%20convergencia.pdf>.

CRUZ GÓMEZ, Alberto J. *Ergonomía aplicada.* 4^a ed. Bogotá-Colombia: ECOE Ediciones, 2010. pp. 21-28.

FLORES, Cecilia. *Ergonomía para el diseño.* México-México: D.R. Designio, 2001. pp. 17-25.

GISBERT, J. *Medicina legal y toxicología.* 6^a ed. Barcelona-España: MASSON, 2004. pp. 331-382.

GKIKAS, Nikolaos. *Automotive Ergonomics, Driver-Vehicle Interaction.* [En línea]. New

York-USA: CRC Press , 2012. pp. 7-77. [Consulta: 18 de Julio de 2016]. Disponible en: <https://issuu.com/lkscunha/docs/230182383-200362597-automotive-ergo>

HAPPIAN, Julian. *An introduction to Modern Vehicle Desing*. Great Britain: Butterworth Heinemann, 2002. pp. 233-273.

KINDLER, Handles. *Matemática aplicada para la técnica del automóvil*. 8^{va} ed. Barcelona-España: Reverté, 1986. pp. 201-226.

LEVY, Neto & PARDINI, L.C. *Compositos estruturais, Ciência e Tecnologia*. São Paulo-Brazil: Edgard Blücher, 2006. pp. 75-84.

MARIASIU, Florin. *Benchmark Test For A Formula SAE Student Car Prototyping*. [En línea]. 2011, (Rumania). 1(4). SP Versita., pp 423-429. [Consulta: 20 de Diciembre de 2015]. ISSN 2081-9927. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.2478/s13531-011-0047-0>

NAVARRO, J. *Elementos amovibles y fijos no estructurales*. 2^{da} ed. Madrid- España: Paraninfo., 2010. pp. 234 - 238.

PÁEZ MOSCOSO, Juan Carlos. *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. [En línea] (tesis). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2007, pp. 1-46. [Consulta: 20 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/352/1/CD-0762.pdf>

PANERO, Julius. *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. 7^{ma} ed. Barcelona-España: Gustavo Gili, 1996. pp. 21-43.

PICKERING, Kim. *Properties and performance of natural-fiber composites*. Washington-USA: CRC Press, 2008. pp. 3-113.

RANA, Sohel & FANGUEIRO, Raul. *Fibrous and Textile Materials for Composite Applications*. Singapore: Springer, 2016. pp. 171-230.

RANA, Sohel & FANGUEIRO, Raul. *Natural Fibres: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications*. [En línea]. Singapore: Springer, 2016. pp. 156-380. [Consulta: 22 de Febrero de 2016].

Disponible en:<http://www.springer.com/gb/book/9789401775137>

SAE. *Rules, 2015 Formula SAE*. [En línea]. USA: SAE International, 2014. [Consulta: 16 de Febrero de 2016]. Disponible en: http://www.sae.org/images/cds/selfservice/410986855_201516%20FSAE%20Rules%20revisi%20on%2091714%20kz.pdf

TAMAYO DUQUE, Napoleón Andrés. *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster con fibra de cabuya mediante estratificación*. [En línea] (tesis). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2012. pp. 1-50. [Consulta: 20 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4714/1/CD-4344.pdf>

TIXE SUBINA, Joffre Marcelo & VISTÍN BASTIDAS, Jhonatan David. *Aplicación de materiales compestos para la formación de guardabarros y tapas laterales de una moto de125cc, 4 tiempos*. [En línea] (tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 28-65. [Consulta: 20 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4123/1/65T00163.pdf>

VALDANO, T. R. *Plantas Altoandinas del Ecuador*. Quito-Ecuador: Universitaria Abya-Yala, 2011. pp.12-14.

VARGAS, E. *Medicina Legal*. [En línea]. 4^a ed. España: Trillas, 2012. pp. 137-173. [Consulta: 22 de Enero de 2016]. Disponible en:<https://es.scribd.com/doc/53108726/Medicina-Legal-Eduardo-Vargas-Alvarado>

YAMAGATA, Nobuki. *Design and Analysis of Reinforced Fiber Composites*. [En línea] California-USA: Springer International Publishing, 2015. pp. 67-85. [Consulta: 22 de Febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.springer.com/la/book/9783319200064>