



**Construcción de la carrocería del prototipo de vehículo de competición formula  
SAE eléctrico utilizando materiales compuestos para la Universidad de las  
Fuerzas Armadas ESPE-L**

Morales Hermosa, Leandro Ismael y Tigasi Panchi, Luis de Jesús

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Trabajo de integración curricular, previa a la obtención del título de Tecnólogo Superior  
en Mecánica Automotriz.

Ing. Arias Pérez, Ángel Xavier

28 de febrero de 2024

Latacunga



## Monografía Tígasl\_Morales.pdf

### Scan details

Scan time: February 29th, 2024 at 13:32 UTC  
 Total Pages: 37  
 Total Words: 9011

### Plagiarism Detection

Types of plagiarism	Words
Identical	0.6% 51
Minor Changes	0.2% 21
Paraphrased	2.4% 216
Omitted Words	8.9% 799

### AI Content Detection

Text coverage  
 AI text  
 Human text  
 N/A

### Plagiarism Results: (12)

- ¿Dónde está la diferencia entre la fibra de aramida y la fibra de carbono?...** 0.6%

<https://es.glassfiberfactory.com/info/where-is-the-difference-between-aramid-fiber-a-77428076.html>  
 Inicio Sobre nosotros Investigación y Desarrollo (I+D) honores y reconocimientos Cultura corporativa Ventajas Corporativ...
- Materiales compuestos: ¿Qué son y para qué sirven?** 0.5%

<https://www.infiniaresearch.com/noticias/materiales-compuestos-que-son-y-para-que-sirven/>  
 Saltar al contenido 656 992 405 info@infini...
- Compuestos de matriz de aluminio Tamaño del mercado, análisis de acci...** 0.5%

<https://www.businessresearchinsights.com/es/market-reports/aluminum-matrix-composites-market-110001>  
 Hogar Industrias CUIDADO DE LA SALUD QUÍMICOS Y MATERIALES TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN EQUIPO DE MAQUINARIA P...
- TFG\_CAROLINA\_SANCHEZ\_PAJAS.pdf** 0.5%

[https://oa.upm.es/47366/1/tfg\\_carolina\\_sanchez\\_pajas.pdf](https://oa.upm.es/47366/1/tfg_carolina_sanchez_pajas.pdf)  
 Carol  
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA PROYECTO FIN DE CARRERA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y MINERA PROYEC...

Ing. Arias Pérez, Ángel Xavier

Director

C.c. 0503454811



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: **"Construcción de la carrocería del prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico utilizando materiales compuestos"** fue realizado por los señores **Morales Hermosa, Leandro Ismael y Tigasi Panchi, Luis de Jesús**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 29 de febrero del 2024

.....  
**Ing. Arias Pérez, Ángel Xavier**

**Director**

**C.c. 0503454811**



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Morales Hermosa, Leandro Ismael**, con cédula de ciudadanía n°1725382681 y **Tigasi Panchi, Luis de Jesús** cédula de ciudadanía n°1753672987, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Construcción de la carrocería del prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico utilizando materiales compuestos** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 29 de febrero del 2024

.....  
**Morales Hermosa, Leandro Ismael**  
C.c. 1725382681

.....  
**Tigasi Panchi, Luis de Jesús**  
C.c. 1753672987



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

**Autorización de Publicación**

Nosotros, **Morales Hermosa, Leandro Ismael**, con cédula de ciudadanía n°1725382681 y **Tigasi Panchi, Luis de Jesús** cédula de ciudadanía n°1753672987 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Título: Construcción de la carrocería del prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico utilizando materiales compuestos** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 29 de febrero del 2024

.....  
**Morales Hermosa, Leandro Ismael**  
C.c. 1725382681

.....  
**Tigasi Panchi, Luis de Jesús**  
C.c. 1753672987

## Dedicatoria

En el transcurso de mis estudios, he tenido días buenos y malos, pero estos días tienen algo en común en todos siempre estuvieron mis padres para apoyarme por esa razón esta dedicatoria va dirigida para ellos. A mi madre y a mi padre por haberme demostrado que hay miles de opciones para conseguir todo lo que uno quiere, por haber enseñado que con esfuerzo, sacrificio y disciplina todo es posible, por su amor incondicional que pese a cometer muchos errores ellos estuvieron ahí para guiarme, aconsejarme y sobre todo quererme y darme palabras de apoyo cada que lo necesitaba, por los valores que me inculcaron desde pequeño, siempre tratar a los demás con respeto, a querer ser mejor persona cada día, por haberme apoyado en mi meta que fue estudiar Mecánica Automotriz y ahora poder cumplir dicha meta le doy gracias porque sin su guía y amor no sería nada de esto posible.

Este trabajo está dedicado a ustedes, con profundo cariño y gratitud.

Tigasi Panchi Luis de Jesús

A mis queridos padres Roberto y Mariela, quienes siempre creyeron en mí y me apoyaron incondicionalmente a lo largo de este camino académico, a pesar de mis errores siempre me aconsejaron y me guiaron para que este triunfo sea posible. A mis abuelitos papi Víctor, mami Rosy, papá Ángel y mami Chavy, por su amor inquebrantable y sabias enseñanzas que me han guiado hasta aquí. A mi querida hermana Mily, y a toda mi familia, por su apoyo, paciencia y comprensión durante esta etapa de mi vida. A las personas que me acogieron en su hogar para poder continuar con mis estudios. Este logro es tan suyo como mío. ¡Gracias por estar siempre a mi lado!

Leandro Ismael Morales Hermosa

## Agradecimiento

Expreso mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que han contribuido de una forma u otra a la realización de este trabajo de investigación. Primero, me gustaría expresar mi gratitud a mi director de tesis Ing. Xavier Arias por su guía experta, apoyo incondicional y sabios consejos durante todo este proceso. Su dedicación y compromiso es la base de este programa.

Estoy muy agradecido con mi familia en especial con mi padre Luis Tigasi y a mi madre Mirian Panchi por su inquebrantable apoyo y comprensión a lo largo de mi trayectoria académica. Su amor incondicional es mi mayor motivación para lograr este objetivo. Finalmente, me gustaría expresar mi agradecimiento a todos aquellos que han aportado su tiempo, paciencia y recursos de diversas maneras a la creación de esta tesis.

Mi más profundo agradecimiento a todos. Este logro no sería posible sin su generoso apoyo y cooperación.

¡Gracias!

Tigasi Panchi Luis de Jesús

Agradezco a Dios por guiarme y darme la fuerza para alcanzar este logro académico. Por darme sabiduría y confianza en mi mismo para poder continuar mi camino académico. A mis padres, por su sacrificio, amor infinito y constante apoyo en cada paso de este camino, por darme las herramientas necesarias para poder continuar con mis estudios. A mi hermana, por ser mi compañera de vida y brindarme su aliento incondicional. A toda mi familia, por su comprensión, ánimo y fe en mí. Su amor y apoyo han sido mi mayor inspiración.

Leandro Ismael Morales Hermosa

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

Carátula .....	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de Publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos .....	8
Índice de figuras .....	12
Índice de tablas.....	14
Resumen.....	15
Abstract .....	16
Capítulo I: Anteproyecto.....	17
Antecedentes .....	17
Planteamiento del problema .....	19
Justificación.....	20
Objetivo .....	21
<i>Objetivo general</i> .....	21
<i>Objetivos específicos</i> .....	21



Alcance.....	22
<b>Capítulo II: Marco teórico .....</b>	<b>23</b>
Descripción general de los vehículos eléctricos de competición SAE.....	23
Propósito de los vehículos de competencia SAE: .....	24
Evolución y tendencias de las competencias eléctricas SAE .....	26
Importancia de la construcción de la carrocería en el desempeño del vehículo	26
Fundamentos de los Materiales Compuestos.....	27
<i>Definición y composición de los materiales compuestos.....</i>	<i>27</i>
<i>Composición de los Materiales Compuestos:.....</i>	<i>27</i>
Tipos de materiales compuestos.....	28
Aplicación de los materiales compuestos. ....	31
Ventajas de los materiales compuestos en la construcción de vehículos .....	34
Tipos comunes de materiales compuestos .....	36
<i>Polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP):.....</i>	<i>36</i>
<i>Polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP):.....</i>	<i>37</i>
<i>Polímero reforzado con fibra natural (NFRP):.....</i>	<i>38</i>
<i>Polímero reforzado con fibra de aramida (AFRP): .....</i>	<i>39</i>
<i>Compuestos termoplásticos de fibra natural:.....</i>	<i>39</i>
<i>Compuestos de matriz de aluminio (AMC):.....</i>	<i>40</i>
Consideraciones de diseño para la carrocería del vehículo.....	41

<i>Principios de diseño aerodinámico</i> .....	41
Requisitos estructurales y consideraciones de seguridad.....	43
<i>Requisitos de construcción:</i> .....	44
<b>Capítulo III: Desarrollo del tema.....</b>	<b>45</b>
<b>Procesos de fabricación de carrocerías de materiales compuestos. ....</b>	<b>45</b>
<b>Procedimiento de la fabricación de la carrocería. ....</b>	<b>48</b>
<b>Proceso de fabricación.....</b>	<b>50</b>
<b>Proceso .....</b>	<b>54</b>
<b>Proceso de pintura .....</b>	<b>56</b>
<b>Proceso .....</b>	<b>58</b>
<b>Proceso de montaje de la suspensión .....</b>	<b>59</b>
<b>Para colocar el alerón delantero se realizó el siguiente proceso.....</b>	<b>60</b>
<b>Capítulo IV: Pruebas de funcionamiento.....</b>	<b>61</b>
<b>Trazo de ruta .....</b>	<b>61</b>
<b>Inspeccion visual.....</b>	<b>62</b>
<b>Pruebas de flexión manual.....</b>	<b>63</b>
<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>64</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>64</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>65</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>66</b>

**Anexos .....67**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Vehículo de competición Formula SAE .....	23
<b>Figura 2</b> Flujo de aire sobre el vehículo.....	25
<b>Figura 3</b> Carrocería del formula SAE.....	27
<b>Figura 4</b> Matriz y refuerzo.....	28
<b>Figura 5</b> Material compuesto polimérica .....	29
<b>Figura 6</b> Materiales compuestos de matriz metálica .....	29
<b>Figura 7</b> Compuesto de matriz cerámica .....	30
<b>Figura 8</b> Compuestos híbridos .....	31
<b>Figura 9</b> Aplicación de materiales compuestos en aeronáutica. ....	31
<b>Figura 10</b> Aplicación de materiales compuestos en la industria automotriz. ....	32
<b>Figura 11</b> Aplicación de materiales compuesto en la construcción.....	33
<b>Figura 12</b> Aplicación de materiales compuestos en los deportes y recreación. ....	33
<b>Figura 13</b> Aplicación de materiales compuestos en la marina. ....	34
<b>Figura 14</b> Polímero reforzado con fibra de carbono.....	37
<b>Figura 15</b> Tubería reforzada con fibra de vidrio .....	38
<b>Figura 16</b> Tendencias tabla del mercado.....	38
<b>Figura 17</b> Fibra de aramida .....	39
<b>Figura 18</b> Termoplástico con fibras naturales.....	40
<b>Figura 19</b> Polvo de material compuesto: Al-Zn-Mg- 5% vol. TiB <sub>2</sub> .....	41
<b>Figura 20</b> Boceto de la carrocería del formula SAE.....	48
<b>Figura 21</b> Carrocería diseñada en (Software Inventor).....	49
<b>Figura 22</b> Fabricación de molde. ....	49
<b>Figura 23</b> Proceso de fabricación de la carrocería .....	50

<b>Figura 24</b> <i>Construcción de alerones laterales.</i> .....	51
<b>Figura 25</b> <i>Alerón lateral.</i> .....	52
<b>Figura 26</b> <i>Diseño de la parte frontal de la carrocería.</i> .....	52
<b>Figura 27</b> <i>Fabricación del alerón posterior.</i> .....	53
<b>Figura 28</b> <i>Ensamble del alerón posterior.</i> .....	53
<b>Figura 29</b> <i>Proceso de masillado y lijado del alerón posterior.</i> .....	54
<b>Figura 30</b> <i>Fabricación de alerón delantero</i> .....	55
<b>Figura 31</b> <i>Proceso de pintura</i> .....	55
<b>Figura 32</b> <i>Revisión de piezas de la carrocería.</i> .....	57
<b>Figura 33</b> <i>Montaje de la carrocería.</i> .....	57
<b>Figura 34</b> <i>Montaje de los amortiguadores</i> .....	58
<b>Figura 35</b> <i>Montaje de las mesas y ruedas.</i> .....	59
<b>Figura 36</b> <i>Montaje del alerón posterior y delantero.</i> .....	60
<b>Figura 37</b> <i>Ruta de pruebas de funcionamiento.</i> .....	61
<b>Figura 38</b> <i>Realizando pruebas de funcionamiento.</i> .....	62
<b>Figura 39</b> <i>Prototipo sobre la pista.</i> .....	62
<b>Figura 40</b> <i>Prototipo luego de las pruebas de funcionamiento.</i> .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Selección de materiales compuestos</i> .....	45
<b>Tabla 2</b> <i>Materiales para la fabricación de la carrocería de fibra de vidrio</i> .....	47
<b>Tabla 3</b> <i>Equipo de protección personal para la fabricación de la carrocería de fibra de vidrio</i> .	47

## Resumen

La presente monografía aborda el diseño y construcción de la carrocería de un prototipo de vehículo de competición Formula SAE eléctrico, En el contexto automovilístico actual, la demanda de vehículos altamente eficientes y respetuosos con el medio ambiente ha impulsado el desarrollo de alternativas como los vehículos eléctricos. El objetivo de este estudio fue desarrollar una carrocería que cumpliera con los requisitos de rendimiento, seguridad y peso de las reglas de competición de la Fórmula SAE, priorizando el uso de materiales compuestos. Estos materiales proporcionan importantes ventajas en términos de resistencia, ligereza y flexibilidad de diseño, que son factores esenciales para la eficiencia y la competitividad en el campo. Se describe detalladamente el proceso de construcción, desde la elaboración del molde hasta la aplicación del laminado compuesto. Se analizan métodos de fabricación como la infusión de resina y el curado al vacío para producir una carrocería de alta calidad y alto rendimiento. Los resultados obtenidos muestran que el uso de materiales compuestos en las carrocerías de los coches eléctricos de Fórmula SAE puede reducir significativamente el peso y mejorar la eficiencia energética y el rendimiento en pista. En conclusión, este estudio proporciona un enfoque detallado y práctico para la construcción de carrocerías de autos de competición formula SAE y destaca los beneficios y consideraciones clave del uso de materiales compuestos. Se espera que los resultados ayuden a los futuros equipos de tecnología e ingeniería automotriz a encontrar soluciones innovadoras y sostenibles en el diseño de vehículos de alto rendimiento.

*Palabras claves:* SAE (Sociedad de ingenieros Automotrices), autonomía mecánica, laminado compuesto

### **Abstract**

This monograph addresses the design and construction of the bodywork for a prototype of an electric Formula SAE competition vehicle. In today's automotive context, the demand for highly efficient and environmentally friendly vehicles has driven the development of alternatives such as electric vehicles. The aim of this study was to develop a bodywork that would meet the performance, safety, and weight requirements of the Formula SAE competition rules, prioritizing the use of composite materials. These materials offer significant advantages in terms of strength, lightness, and design flexibility, which are essential factors for efficiency and competitiveness in the field. The construction process is detailed, from the creation of the mold to the application of composite laminates. Manufacturing methods such as resin infusion and vacuum curing are analyzed to produce a high-quality, high-performance bodywork. The results show that the use of composite materials in the bodywork of electric Formula SAE cars can significantly reduce weight and improve energy efficiency and track performance. In conclusion, this study provides a detailed and practical approach to the construction of Formula SAE competition car bodies and highlights the benefits and key considerations of using composite materials. It is hoped that the results will assist future teams in automotive technology and engineering in finding innovative and sustainable solutions in the design of high-performance vehicles.

*Keywords:* SAE (Society of Automotive Engineers), mechanical autonomy, composite laminate



## Capítulo I

### Anteproyecto

#### Antecedentes

De acuerdo con (BAYAS & ROSERO, 2015). Formula SAE nació en Michigan, Estados Unidos siguiendo los lineamientos. Una competencia entre estudiantes destacada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices, universidades de todo el mundo diseñan, construyen y operan monoplazas promoviendo la excelencia a las ingenierías a través de su información

Según (CAIZA & VILAÑA , 2015). La fórmula SAE es una competición muy prestigiosa la cual acoge a múltiples universidades a nivel mundial en estos se encuentran universidad de países como: Alemania, Estados Unidos, Italia, Brasil, Japón, entre otros; como representantes de nuestro país en la formula SAE están la Escuela Politécnica del Ejercito y la Universidad Politécnica Salesiana. Todas las universidades que participan utilizan la misma normativa y juntas conforman hasta 120 equipos y más de 2000 estudiantes para la competencia. En consecuencia, a estos hechos la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se enfoca cada vez más a la construcción de prototipos Formula SAE para así un día estudiantes lleguen a participar en dicha competencia utilizando mejores materiales de nuestro país y realizar mas estudios a profundidad para tener un mejor conocimiento en el diseño de monoplazas.

Hoy, la competencia se ha expandido e incluye más de 12 eventos en todo el mundo. Por ejemplo, Formula Student es un evento similar aprobado por SAE en el Reino Unido, así como Formula SAE Australasia (Formula SAE-A) que tiene lugar en Australia . El Verein Deutscher Ingenieure (VDI) celebra la competición Formula Student Germany en el Hockenheimring .

En 2007, se inauguró una rama denominada Formula Hybrid . Es similar a la Fórmula SAE, excepto que todos los autos deben tener plantas de energía híbridas de gasolina y electricidad. La competencia se lleva a cabo en el New Hampshire International Speedway .

En 2010, se inauguró la Fórmula Student Electric, que requiere que los estudiantes construyan un vehículo de carreras completamente eléctrico.

En 2017 se inauguró la Formula Student Driverless.

## Planteamiento del problema

El proyecto que se presenta a continuación en el cual se reconstruirá la carrocería y se le agregará un alerón según la normativa de la formula SAE, para solucionar el problema del peso del vehículo, tomando en cuenta también el aerodinamismo y el efecto suelo que tendrá el formula SAE.

Según (CHASI & MONTEROS, 2015). Con ello se pretende obtener una carrocería más eficiente en la parte aerodinámica, buscando métodos más eficientes para realizar el direccionamiento de las corrientes de aire que se presentan durante el desplazamiento del vehículo, para ello en la carrocería añadiremos un alerón de formula SAE, esto lo llevaremos a cabo con los lineamientos que se establecen en el reglamento de la competencia formula SAE. El diseño se llevará a cabo en base al modelo que tiene actualmente el formula SAE y mejorarlo en su construcción para tener un mejor control sobre el desempeño que realizará la carrocería y la función que tendrá el alerón. También se le añadirá un absorbedor de impacto para así ir equipando y formar un vehículo de calidad para desempeñarse en competencias.

En conclusión, el desarrollo de la carrocería para el prototipo de vehículo eléctrico de competición SAE Formula utilizando materiales compuestos presenta varios desafíos y consideraciones. El objetivo de este proyecto es diseñar y fabricar una carrocería liviana, aerodinámica y estructuralmente robusta que cumpla con los estrictos requisitos de la competencia aprovechando las ventajas que ofrecen los materiales compuestos.

**Justificación**

Con el proyecto que vamos a realizar lo que se pretende es obtener un mejor rendimiento del vehículo de competición Formula SAE, para lo cual se aplicara conocimientos teóricos y prácticos obtenidos durante la carrera para obtener los resultados deseados en cuanto a la menoración del peso del vehículo.

De acuerdo con (CAIZA & VILAÑA , 2015), con este proyecto se pretende disminuir el peso del vehículo realizando una carrocería con materiales compuestos los cuales nos ayudara en el problema que tenemos con el peso y así mejorando su rendimiento, como es de nuestro entero conocimiento la industria automotriz es una de las másgrandes de todo el mundo, mediante ello se generan miles de empleos y genera gran actividad económica a nivel global, por esto nuestro país es uno de los que fabrican y diseñan carrocerías Nos brinda oportunidades, ya que tiene muchos puntos favorables como es en la economía y por consecuencia se generan empleos importantes.

## **Objetivo**

### ***Objetivo general***

Construir la carrocería del prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico utilizando materiales compuestos para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L

### ***Objetivos específicos***

- Indagar en fuentes bibliográficas información concisa para la implementación de una carrocería de bajo peso en el prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico.
- Construir una carrocería funcional que cumpla los requisitos establecidos y obtener resultados favorables, utilizando materiales compuestos para aumentar su aerodinamismo.
- Realizar pruebas de ruta para comprobar que nuestro proyecto dio los resultados que nos planteamos al inicio.

**Alcance**

Objetivo de este proyecto es construir la carrocería del vehículo de competición Formula SAE utilizando materiales compuestos como fibras de vidrio o carbono, donde se espera que el vehículo obtenga un mejor funcionamiento gracias a la menoración del peso de su carrocería y ensayar el funcionamiento de estos materiales dentro de la carrocería de un vehículo, con el fin de motivar a usar estos materiales para la construcción de carrocerías y ser un aporte para la industria carrocera automotriz.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Descripción general de los vehículos eléctricos de competición SAE

Los vehículos de competencia SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) representan una notable intersección de innovación en ingeniería, trabajo en equipo y entusiasmo por los deportes de motor. Estos vehículos están diseñados y construidos por estudiantes de varias universidades de todo el mundo para participar en competencias SAE, que desafían sus habilidades de ingeniería, creatividad y habilidades para resolver problemas. Este ensayo explora la definición y el propósito de los vehículos de competencia SAE, arrojando luz sobre su importancia en el ámbito de la ingeniería automotriz.

#### Figura 1

*Vehículo de competición Formula SAE*



*Nota.* Se observa el diseño de un vehículo de competición Fórmula SAE. Tomado de Alumnos UTEC (2021)

Los vehículos de competición SAE, también conocidos como vehículos Fórmula SAE

(FSAE), son coches de carreras de ruedas abiertas de alto rendimiento construidos por equipos de estudiantes. Están diseñados para cumplir con las normas específicas establecidas por SAE International, una organización que fomenta la colaboración entre los profesionales de la automoción y promueve la excelencia en ingeniería. Estas competencias brindan una plataforma para que los estudiantes apliquen sus conocimientos teóricos a los desafíos de ingeniería automotriz del mundo real.

### **Propósito de los vehículos de competencia SAE:**

**Aprendizaje experiencial:** el propósito principal de los vehículos de competencia SAE es brindar a los estudiantes experiencia práctica en el diseño, la construcción y las carreras de un vehículo de alto rendimiento. Esta aplicación práctica de principios de ingeniería mejora sus habilidades técnicas y habilidades para resolver problemas, preparándolos para futuras carreras en la industria automotriz.

**Trabajo en equipo y colaboración:** las competencias SAE requieren que los estudiantes trabajen en equipos multidisciplinarios, simulando proyectos de ingeniería del mundo real. Este entorno de colaboración fomenta el trabajo en equipo, la comunicación eficaz y las habilidades de gestión de proyectos. Los estudiantes aprenden a delegar tareas, resolver conflictos y trabajar hacia un objetivo común, reflejando la dinámica de los equipos profesionales de ingeniería.

**Diseño y optimización:** los vehículos de competición SAE enfatizan la innovación y la creatividad en el diseño de vehículos. Los estudiantes tienen el desafío de optimizar varios aspectos, incluida la aerodinámica, el diseño del chasis, el rendimiento del tren motriz y los sistemas de suspensión. El objetivo es lograr el máximo rendimiento respetando las normas de seguridad y las limitaciones de costes.



**Figura 2**

*Flujo de aire sobre el vehículo*



*Nota.* Se observa flujo de iré sobre el vehículo. Tomado de (ARTEAGA OSCAR & MENA , 2015)

**Aplicación de conocimientos técnicos:** los vehículos de competencia SAE sirven como plataforma para que los estudiantes apliquen los conocimientos teóricos adquiridos a través de sus cursos académicos. Utilizan conceptos en áreas como diseño mecánico, ciencia de materiales, dinámica de vehículos, sistemas de control y administración de energía. Al traducir la teoría a la práctica, los estudiantes profundizan su comprensión de los principios de la ingeniería automotriz.

**Pruebas y validación:** las competencias SAE brindan la oportunidad de validar el rendimiento del vehículo a través de pruebas rigurosas. Los estudiantes realizan varias evaluaciones, que incluyen eventos de aceleración, derrape, auto Cross y resistencia, donde se evalúan las capacidades de su vehículo. Este proceso permite a los estudiantes analizar e interpretar datos, identificar áreas de mejora y mejorar el rendimiento del vehículo.

**Redes y desarrollo profesional:** las competencias SAE reúnen a estudiantes, profesores y profesionales de la industria, creando una plataforma para redes y desarrollo profesional. Los participantes tienen la oportunidad de interactuar con expertos de la industria, obtener información sobre las tendencias actuales y los avances tecnológicos, y

establecer conexiones que pueden conducir a pasantías, oportunidades laborales y colaboraciones.

### **Evolución y tendencias de las competencias eléctricas SAE**

La evolución de las habilidades eléctricas en las competencias SAE refleja las tendencias más amplias en la industria automotriz hacia la electrificación, la conectividad y la autonomía. La creciente importancia de los trenes motrices eléctricos, los avances en los componentes del tren motriz y la integración de sistemas y software integrados han transformado los requisitos de habilidades para los participantes. El énfasis en la eficiencia energética, la optimización del alcance, la infraestructura de carga y las tecnologías emergentes resalta la importancia de mantenerse al tanto de los últimos desarrollos en ingeniería eléctrica dentro del contexto automotriz. Al adaptarse a estas tendencias, los participantes en las competencias SAE pueden contribuir al avance de tecnologías automotrices sostenibles e innovadoras.

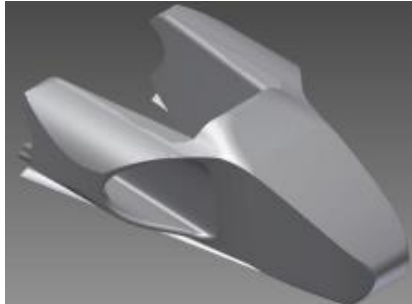
### **Importancia de la construcción de la carrocería en el desempeño del vehículo**

La construcción de la carrocería de un vehículo es fundamental para determinar su rendimiento, eficiencia, seguridad y experiencia de conducción en general. Al priorizar factores como la integridad estructural, la reducción de peso, la aerodinámica y la seguridad, los fabricantes pueden optimizar el diseño de la carrocería para mejorar las capacidades de rendimiento del vehículo. Una carrocería bien diseñada no solo garantiza la seguridad de los ocupantes, sino que también contribuye a mejorar la agilidad, la eficiencia del combustible, la estabilidad y la reducción de los niveles de ruido. Reconocer la importancia de la construcción de carrocerías permite a los ingenieros automotrices innovar y refinar continuamente los diseños, mejorando el rendimiento general y la calidad de los vehículos en

beneficio tanto de los conductores como de los pasajeros.

### **Figura 3**

*Carrocería del formula SAE*



*Nota.* Carrocería termina en un simulador. Tomado de CELI JORGE & JARAMILLO (2012).

## **Fundamentos de los Materiales Compuestos**

### ***Definición y composición de los materiales compuestos***

Los materiales compuestos son materiales de ingeniería fabricados mediante la combinación de dos o más materiales distintos con diferentes propiedades físicas o químicas para crear un nuevo material que posee características únicas. Estos materiales están diseñados para aprovechar las fortalezas individuales de cada componente, dando como resultado un material que supera las propiedades de sus constituyentes individuales.

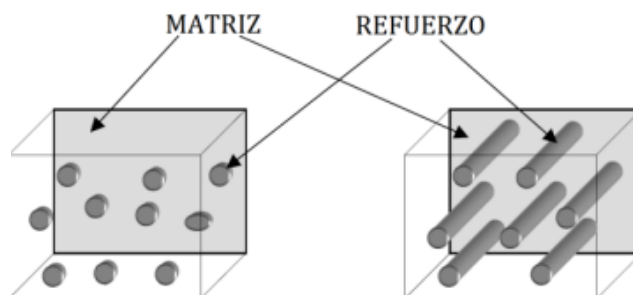
### ***Composición de los Materiales Compuestos:***

Los materiales compuestos suelen constar de dos componentes principales:

**Material Matriz:** El material matriz es la fase continua que rodea y une los materiales de refuerzo. Proporciona cohesión, transfiere cargas y protege el refuerzo. La matriz puede ser un polímero, metal, cerámica o una combinación de estos materiales. Los materiales de matriz comunes incluyen epoxi, poliéster, nailon, aluminio y carbono.

## Figura 4

### Matriz y refuerzo



*Nota.* Matriz y refuerzo del material compuesto. Tomado de [www.grupocarman.com](http://www.grupocarman.com)

**Material de refuerzo:** el material de refuerzo, también conocido como fase de refuerzo, está incrustado dentro del material de la matriz para mejorar las propiedades específicas del compuesto. El refuerzo puede estar en forma de fibras, partículas o escamas. Los materiales de refuerzo incluyen fibras como fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras de aramida (por ejemplo, Kevlar) o fibras naturales como bambú o cáñamo. Otros tipos de refuerzo incluyen nanopartículas, bigotes o plaquetas.

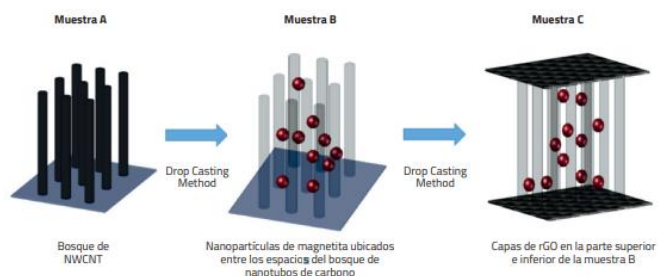
### Tipos de materiales compuestos

Los materiales compuestos se pueden clasificar en diferentes tipos según la naturaleza de la matriz y los materiales de refuerzo:

**Compuestos de matriz polimérica (PMC):** los PMC utilizan polímeros, como epoxi, poliéster o termoplásticos, como material de matriz. Son ligeros, resistentes a la corrosión y tienen buenas propiedades mecánicas. Los ejemplos comunes incluyen compuestos de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) y polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP).

## Figura 5

### Material compuesto polimérica

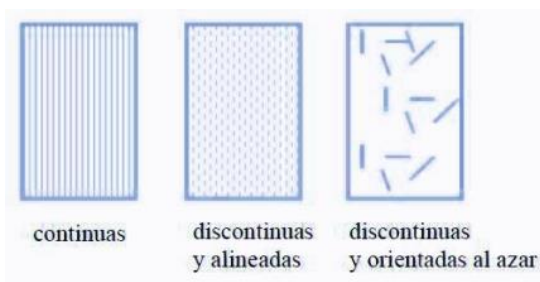


*Nota.* Arquitectura del material fabricado por Singh et al. Tomado de Adaptado de Singh, A.P., et al. (2015)

**Compuestos de matriz metálica (MMC):** los MMC utilizan metales, como aluminio, titanio o magnesio, como material de matriz. Exhiben alta resistencia, rigidez y propiedades térmicas mejoradas. Los MMC se usan comúnmente en aplicaciones aeroespaciales y automotrices, donde se requieren materiales livianos con propiedades mecánicas mejoradas.

## Figura 6

### Materiales compuestos de matriz metálica

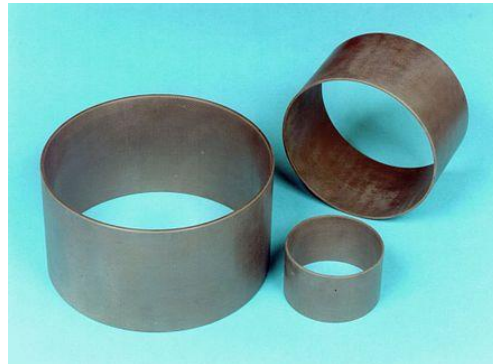


*Nota.* Se presenta los tipos de materiales compuestos de matriz metálica. Tomado de Álvarez et al., n.d.

**Compuestos de matriz cerámica (CMC):** los CMC utilizan materiales cerámicos, como el carburo de silicio o la alúmina, como material de matriz. Tienen una excelente resistencia a altas temperaturas, alta resistencia y resistencia al desgaste. Los CMC se utilizan en entornos extremos, como sistemas de propulsión aeroespacial o aplicaciones de protección térmica.

### Figura 7

*Compuesto de matriz cerámica*

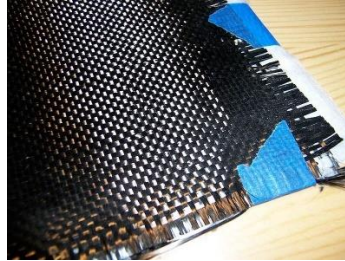


*Nota.* Mangas de eje CMC. Tomado de tok.wiki, 2014

**Compuestos híbridos:** Los compuestos híbridos combinan diferentes tipos de matriz y materiales de refuerzo. Por ejemplo, un compuesto híbrido puede consistir en fibras de carbono y fibras de vidrio en una matriz epoxi. Estos compuestos tienen como objetivo lograr un equilibrio de propiedades aprovechando las características únicas de cada material.

## Figura 8

*Compuestos híbridos*



*Nota.* En la figura 8 se muestra un material híbrido compuesto por fibra de carbono y kevlar.

Tomado de *Materiales Híbridos Y Biomateriales*, 2023

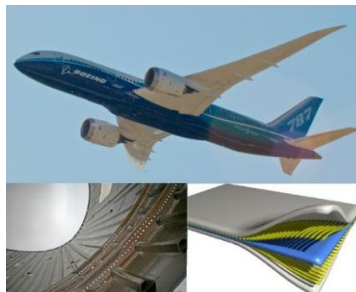
### **Aplicación de los materiales compuestos.**

Los materiales compuestos se utilizan ampliamente en diversas industrias debido a sus propiedades deseables y su versatilidad. Algunas aplicaciones comunes incluyen:

**Aeroespacial y aviación:** los materiales compuestos se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial para componentes de aeronaves, como alas, fuselajes y secciones de cola. La naturaleza liviana y la alta relación resistencia-peso de los compuestos contribuyen a mejorar la eficiencia del combustible y el rendimiento.

## Figura 9

*Aplicación de materiales compuestos en aeronáutica.*



*Nota.* En la actualidad, representan más del 50 % de las piezas utilizadas en las estructuras de las aeronaves, como componentes especialmente complejos que están sujetos a las cargas estructurales más elevadas y, por lo tanto, deben diseñarse específicamente para este fin. Tomado de Principia, 2017

**Automotriz:** los materiales compuestos se utilizan en la industria automotriz para reducir el peso del vehículo y mejorar la eficiencia del combustible. Se emplean en componentes como los paneles de la carrocería, las estructuras del chasis y las partes interiores, y ofrecen una resistencia mejorada, resistencia a los choques y resistencia a la corrosión.

### **Figura 10**

*Aplicación de materiales compuestos en la industria automotriz.*



*Nota.* McLaren fue pionera en la construcción monocasco de fibra de carbono y tiene una amplia experiencia con los asientos individuales de Fórmula 1, siendo el primer fabricante en utilizarlos y salvando la vida de muchos conductores. Tomado de Togneri, 2021.

**Construcción:** Los materiales compuestos encuentran aplicación en la industria de la construcción para elementos estructurales, incluidos puentes, vigas y columnas. Proporcionan alta resistencia, durabilidad y resistencia a los factores ambientales.



**Figura 11**

*Aplicación de materiales compuesto en la construcción*



*Nota.* Vista general del puente ligero de MC. Tomado de Puentes, 2023.

**Deportes y recreación:** los materiales compuestos se usan comúnmente en equipos deportivos como raquetas de tenis, palos de golf, bicicletas y cascos. Ofrecen una construcción ligera, un rendimiento mejorado y una mayor durabilidad.

**Figura 12**

*Aplicación de materiales compuestos en los deportes y recreación.*



*Nota.* El diseño ligero reduce el número de materiales requeridos para fabricar una forma final mientras que mantiene la resistencia de impacto. Tomado de Principia, 2017.

**Marina:** Los materiales compuestos se utilizan en cascos, cubiertas y mástiles de

embarcaciones debido a su resistencia a la corrosión, bajo peso y alta resistencia.

### **Figura 13**

*Aplicación de materiales compuestos en la marina.*



*Nota.* La construcción compuesta ha sido el método más común en la construcción naval desde la década de 1970, fácil de usar y económico, y es utilizado por muchos astilleros.

Tomado de Chloé Torterat, 2021.

### **Ventajas de los materiales compuestos en la construcción de vehículos**

El uso de materiales compuestos en la construcción de vehículos ofrece numerosas ventajas, contribuyendo a mejorar el rendimiento, la eficiencia y la seguridad. Algunas ventajas clave de los materiales compuestos en la construcción de vehículos son:

**Ligero:** los materiales compuestos son conocidos por su alta relación resistencia-peso. Al utilizar compuestos livianos, el peso del vehículo se puede reducir significativamente en comparación con los materiales tradicionales como el acero o el aluminio. Esta reducción de peso conduce a una mayor eficiencia de combustible, una mayor autonomía en los vehículos eléctricos, una mayor aceleración y un mejor rendimiento general.

**Resistencia y rigidez:** los materiales compuestos poseen excelentes propiedades de resistencia y rigidez, lo que permite la construcción de componentes de vehículos livianos,

pero estructuralmente robustos. Esta fortaleza permite a los fabricantes diseñar vehículos con mayor resistencia a los choques, seguridad de los ocupantes y durabilidad.

**Flexibilidad de diseño:** los materiales compuestos ofrecen una mayor flexibilidad de diseño en comparación con los materiales tradicionales. Se pueden moldear en formas complejas, lo que permite diseños de vehículos innovadores y aerodinámicamente optimizados. Esta flexibilidad abre posibilidades para mejorar el rendimiento del vehículo, reducir la resistencia y mejorar la eficiencia.

**Resistencia a la corrosión:** los materiales compuestos son inherentemente resistentes a la corrosión, lo que los hace muy adecuados para su uso en entornos hostiles. A diferencia de los metales, los compuestos no se oxidan ni corroen, lo que aumenta la durabilidad y reduce los costos de mantenimiento.

**Amortiguación de vibraciones:** los materiales compuestos tienen excelentes propiedades de amortiguación, lo que significa que pueden absorber y amortiguar eficazmente las vibraciones y el ruido. Esta característica contribuye a una conducción más suave y cómoda, reduciendo la fatiga del conductor y del pasajero.

**Aislamiento eléctrico:** los compuestos no son conductores de electricidad, lo que los hace ideales para aplicaciones en las que se requiere aislamiento eléctrico. Esta característica es ventajosa en vehículos eléctricos e híbridos, donde los componentes eléctricos y los sistemas de alto voltaje deben aislarse de manera segura.

**Desempeño acústico:** los materiales compuestos se pueden diseñar para tener propiedades superiores de aislamiento acústico. Pueden ayudar a reducir la transmisión de ruido del entorno exterior, lo que da como resultado cabinas más silenciosas y una experiencia de conducción más placentera.

**Correlación con la sostenibilidad:** los materiales compuestos se pueden producir utilizando fibras recicladas o de base biológica, lo que contribuye a los objetivos de sostenibilidad de la industria automotriz. La naturaleza liviana de los compuestos también ayuda a reducir las emisiones y mejorar el desempeño ambiental general.

**Personalización y reparación:** los materiales compuestos se pueden reparar o reemplazar fácilmente en caso de daño. Esta capacidad de reparación permite un mantenimiento y una reparación rentables, lo que reduce los costes generales del ciclo de vida del vehículo.

**Innovación y desarrollo futuro:** el uso de compuestos en la construcción de vehículos fomenta la investigación y el desarrollo continuos en ciencia e ingeniería de materiales. Los avances en las tecnologías de compuestos continúan ampliando los límites del rendimiento, la durabilidad y la rentabilidad en la industria automotriz.

### **Tipos comunes de materiales compuestos**

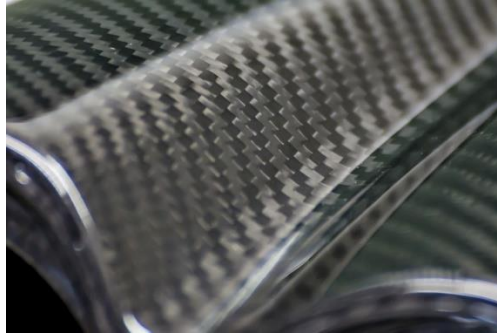
En aplicaciones automotrices, se usan comúnmente varios tipos de materiales compuestos debido a sus propiedades y ventajas deseables. Algunos de los tipos más frecuentes de compuestos utilizados en la industria automotriz incluyen:

#### ***Polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP):***

Los compuestos de fibra de carbono consisten en fibras de carbono incrustadas en una matriz de polímero, generalmente resina epoxi. CFRP ofrece una excepcional relación resistencia-peso, alta rigidez y excelente resistencia a la fatiga. Estos compuestos se utilizan en varios componentes automotrices, incluidos paneles de carrocería, estructuras de chasis, molduras interiores y piezas de suspensión. CFRP ayuda a reducir el peso del vehículo, mejorar la eficiencia del combustible y mejorar el rendimiento general.

**Figura 14**

*Polímero reforzado con fibra de carbono.*



*Nota.* Los materiales compuestos de fibra carbono, son relativamente nuevos en los procesos tanto técnicos como industriales. Tomado de Plásticos Reforzados Con Fibra de Carbono - PH Technology, 2022.

***Polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP):***

Los compuestos de fibra de vidrio comprenden fibras de vidrio incrustadas en una matriz polimérica, como poliéster o resina epoxi. GFRP exhibe buena fuerza, resistencia al impacto y estabilidad dimensional. Se usa comúnmente en aplicaciones automotrices para componentes como paneles de carrocería, capós, puertas y partes interiores. GFRP ofrece alternativas rentables a los compuestos de fibra de carbono al mismo tiempo que proporciona reducción de peso y propiedades mecánicas adecuadas.

## Figura 15

*Tubería reforzada con fibra de vidrio*



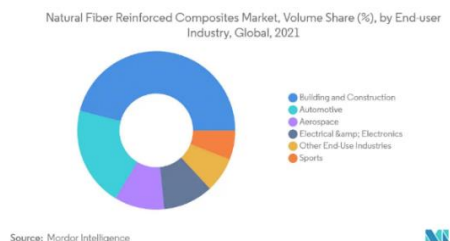
*Nota.* Para uso en sistemas de suministro de agua o líquidos, resistentes a ambientes ácidos. Tomado de Rebar, 2022.

### ***Polímero reforzado con fibra natural (NFRP):***

Los compuestos de fibra natural utilizan fibras derivadas de fuentes renovables, como lino, cáñamo, sisal o kenaf, en una matriz polimérica. NFRP ofrece ventajas como bajo costo, peso ligero y biodegradabilidad. Estos compuestos se emplean en componentes interiores, como paneles de puertas, respaldos de asientos y paneles de instrumentos, para mejorar la sustentabilidad y reducir el impacto ambiental.

## Figura 16

*Tendencias tabla del mercado*



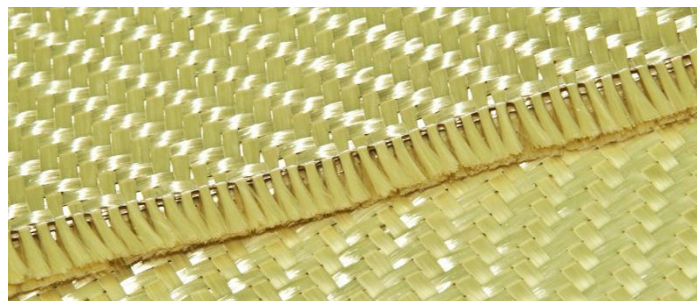
*Nota.* El mercado global de compuestos reforzados con fibra natural está fragmentado por naturaleza. Tomado de *Compuestos Reforzados Con Fibras Naturales Tamaño Del Mercado, Participación | 2022 - 27 | Pronóstico de La Industria, 2022.*

***Polímero reforzado con fibra de aramida (AFRP):***

Los compuestos de fibra de aramida emplean fibras como Kevlar® en una matriz de polímero, a menudo epoxi. AFRP exhibe alta resistencia, excelente resistencia al impacto y buena resistencia al calor. Estos compuestos se usan comúnmente en aplicaciones automotrices que requieren fuerza y resistencia excepcionales a la penetración, como paneles a prueba de balas, capas protectoras y estructuras de choque.

**Figura 17**

*Fibra de aramida*



*Nota.* Lo interesante es que tiene una alta elongación en rotura a alrededor de 4%, sin embargo, se utiliza comúnmente en fibra que incluye spandex Lycra. Tomado de *Fibras de Aramida | Sellos Hidráulicos Y Neumáticos, 2017.*

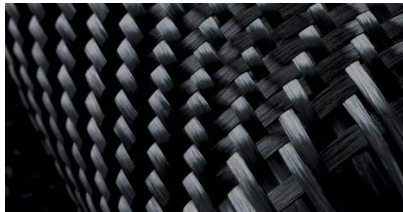
***Compuestos termoplásticos de fibra natural:***

Los compuestos termoplásticos de fibra natural utilizan fibras naturales, como el yute, el kenaf o el bambú, incrustadas en una matriz termoplástica como el polipropileno o la

poliamida. Estos compuestos ofrecen ventajas como bajo costo, peso ligero y reciclabilidad. Los compuestos termoplásticos de fibra natural encuentran aplicación en los componentes interiores, incluidos los paneles de las puertas, los respaldos de los asientos y los revestimientos del maletero.

### **Figura 18**

*Termoplástico con fibras naturales*



*Nota.* Las matrices termoplásticas tienen propiedades inferiores en comparación con las matrices termoestables, por lo que su uso es limitado. Tomado de, AITEX, 2016.

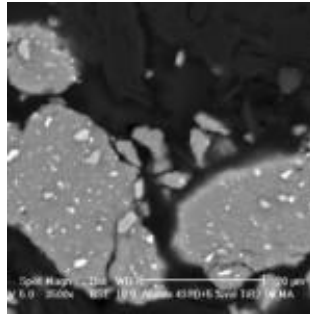
### ***Compuestos de matriz de aluminio (AMC):***

Los compuestos de matriz de aluminio consisten en una aleación de aluminio reforzada con partículas cerámicas, como carburo de silicio o alúmina. Los AMC proporcionan mayor resistencia, rigidez y estabilidad térmica en comparación con las aleaciones de aluminio convencionales. Se utilizan en aplicaciones automotrices que requieren una construcción liviana, como componentes de motores, piezas de suspensión y rotores de frenos.



## Figura 19

*Polvo de material compuesto: Al-Zn-Mg- 5% vol. TiB<sub>2</sub>*



*Nota.* Aleaciones de aluminio capaces de desarrollar mayor resistencia a la tracción junto con una alta resistencia al impacto. Tomado de tecnologopolvos, 2012.

## Consideraciones de diseño para la carrocería del vehículo

### ***Principios de diseño aerodinámico***

Los principios de diseño aerodinámico son cruciales en varios campos, incluidos la ingeniería automotriz, aeroespacial y eólica. Estos principios se centran en dar forma a los objetos para minimizar la resistencia, optimizar la sustentación y mejorar la eficiencia general al moverse a través de un medio fluido, generalmente aire. Estos son algunos principios clave del diseño aerodinámico:

**Racionalización:** la racionalización implica dar forma a un objeto para minimizar la resistencia y la turbulencia a medida que se mueve a través de un medio fluido. El objetivo es reducir la resistencia al garantizar transiciones suaves y graduales a lo largo de la superficie, minimizando la separación del flujo y las variaciones de presión.

**Perfil aerodinámico:** la forma de la sección transversal de un objeto, conocida como perfil aerodinámico, juega un papel fundamental en su rendimiento. A menudo se prefiere un

perfil aerodinámico en forma de lágrima, ya que minimiza el arrastre de presión y fomenta el flujo laminar.

**Curvatura y contorno:** los contornos suaves y continuos ayudan a mantener la unión del flujo de aire y reducen la formación de capas límite turbulentas. Los cambios graduales en la curvatura permiten que el flujo siga la superficie más fácilmente, lo que reduce la resistencia.

**Elevación y carga aerodinámica:** además de reducir la resistencia, los principios de diseño aerodinámico tienen como objetivo optimizar la sustentación y la carga aerodinámica. La sustentación es esencial en la aviación para generar fuerza hacia arriba, mientras que la carga aerodinámica mejora la tracción y la estabilidad en aplicaciones automotrices. Esto se logra mediante la conformación adecuada de alas, perfiles aerodinámicos u otras superficies generadoras de sustentación.

**Reducción de arrastre:** se emplean varias técnicas para minimizar el arrastre. Estos incluyen el uso de formas aerodinámicas, carenados aerodinámicos, reducción de la rugosidad de la superficie, minimización del área frontal y optimización de la ubicación de los componentes para reducir la interferencia entre el flujo de aire y el objeto.

**Control de la capa límite:** la capa límite es la capa delgada de aire adyacente a la superficie de un objeto. Administrar y controlar la capa límite es crucial para reducir la resistencia. Se emplean técnicas como hoyuelos, generadores de vórtices y succión de la capa límite para retrasar la separación del flujo y mantener el flujo adjunto.

**Apéndices aerodinámicos:** los componentes adicionales, como alerones, alas o aletas, se colocan estratégicamente para optimizar el rendimiento aerodinámico. Estos apéndices manipulan el flujo de aire y generan los efectos deseados, como una mayor carga

aerodinámica, una menor sustentación o una mejor estabilidad.

**Dinámica de fluidos computacional (CFD):** el software de simulación CFD se usa ampliamente para modelar y analizar el flujo de aire alrededor de los objetos. Permite a los ingenieros predecir y optimizar el rendimiento aerodinámico mediante la visualización de patrones de flujo, distribuciones de presión y coeficientes de resistencia antes de la creación de prototipos físicos.

**Pruebas en túnel de viento:** Las pruebas en túnel de viento permiten la evaluación y el perfeccionamiento de diseños aerodinámicos en un entorno controlado. Los modelos a escala o los prototipos a escala real se someten a condiciones de flujo de aire simuladas, lo que proporciona datos valiosos para la optimización del diseño.

**Enfoque multidisciplinario:** los principios de diseño aerodinámico a menudo requieren un enfoque multidisciplinario, que implica la colaboración entre aerodinámicos, ingenieros estructurales, científicos de materiales y otros expertos relevantes. Esto garantiza que las consideraciones aerodinámicas se integren a la perfección con otros requisitos de diseño.

Al emplear estos principios de diseño aerodinámico, los ingenieros se esfuerzan por mejorar el rendimiento, la eficiencia y la seguridad en diversas industrias. La optimización de las características aerodinámicas puede conducir a una reducción del consumo de combustible, una mayor velocidad, una mayor estabilidad y un mayor rendimiento general de los vehículos, aeronaves y otros objetos en movimiento.

### **Requisitos estructurales y consideraciones de seguridad**

Los requisitos de construcción y las consideraciones de seguridad son aspectos cruciales al diseñar y construir vehículos. El cumplimiento de los requisitos de construcción

garantiza que el vehículo cumpla con las normas y reglamentos necesarios, mientras que las consideraciones de seguridad apuntan a proteger a los ocupantes, los peatones y el público en general. Aquí hay algunos puntos clave a considerar:

***Requisitos de construcción:***

**Integridad estructural:** el vehículo debe diseñarse y construirse con la integridad estructural adecuada para soportar cargas operativas normales, así como posibles impactos y colisiones. Esto incluye consideraciones para el chasis, la estructura de la carrocería, las jaulas antivuelco y otros componentes estructurales.

**Selección de materiales:** la elección de los materiales debe cumplir con los requisitos reglamentarios y los estándares de la industria. Los materiales deben poseer características apropiadas de resistencia, durabilidad y resistencia a choques. Los materiales comúnmente utilizados incluyen acero de alta resistencia, aluminio y materiales compuestos.

**Restricciones dimensionales y de peso:** los vehículos deben cumplir con las restricciones dimensionales y de peso impuestas por las reglamentaciones locales. Esto incluye consideraciones sobre la longitud, el ancho, la altura y los límites máximos de peso del vehículo.

**Ergonomía:** las consideraciones sobre la ergonomía del conductor y del pasajero son importantes para reducir la fatiga y la distracción del conductor. La ubicación adecuada y la accesibilidad de los controles, los asientos cómodos y el diseño claro del panel de instrumentos contribuyen a una operación segura y cómoda del vehículo.

### Capítulo III

#### Desarrollo del tema

##### Procesos de fabricación de carrocerías de materiales compuestos.

Los materiales compuestos ofrecen numerosas ventajas para la fabricación de carrocerías de vehículos, proporcionando un equilibrio entre resistencia, rigidez y reducción de peso. Para aprovechar estos beneficios, se utilizan comúnmente varios procesos de fabricación en la producción de carrocerías compuestas para vehículos.

**Tabla 1**

*Selección de materiales compuestos*

<b>Características</b>	<b>fibra de carbono</b>	<b>fibra de vidrio</b>	<b>fibra de aramida</b>	<b>Compuestos termoplásticos de fibra natural</b>	<b>Compuestos de matriz de aluminio</b>
Alta resistencia	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Resistencia a la corrosión	x	x			x
Módulo de elasticidad	x	x	x		
Baja densidad	x			x	
Maleable	x	x			
Resistencia a altas temperaturas				x	x

<b>Características</b>	<b>fibra de carbono</b>	<b>fibra de vidrio</b>	<b>fibra de aramida</b>	<b>Compuestos termoplásticos de fibra natural</b>	<b>Compuestos de matriz de aluminio</b>
Excelente relación resistencia/fatiga	x				
Bajo costo		x			
Baja conductividad térmica	x	x	x	x	x
Aislante acústico		x		x	
Resistencia a los rayos UV		x			
Resistencia al corte y a la abrasión			x		
Conductividad eléctrica					x
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

*Nota.* En la tabla 1 presentada se detalla las características de cada material compuesto.

Como se puede ver en la tabla 1 la fibra de vidrio ofrece varias ventajas en la producción de carrocerías de coches de carreras de Fórmula SAE, su peso ligero, resistencia a la corrosión, buena flexibilidad y costo razonable lo convierten en una opción favorable en

comparación con otros materiales compuestos. Aprovechando las propiedades únicas de la fibra de vidrio, los equipos pueden lograr un mejor rendimiento, durabilidad y eficiencia aerodinámica en los autos de carreras de Fórmula SAE.

A continuación, en la tabla 2 se detallan los principales materiales para la fabricación de la carrocería en fibra de vidrio, y en la tabla 3 se observa el equipo de protección personal recomendado para la fabricación de la carrocería con fibra de vidrio.

**Tabla 2**

*Materiales para la fabricación de la carrocería en fibra de vidrio.*

MATERIALES	FUNCION.
<b>Fibra de vidrio</b>	Proporciona resistencia, rigidez y base.
<b>Resina de poliéster.</b>	Consolida la fibra de vidrio.
<b>Cartón prensado</b>	Proporciona la forma de la carrocería.
<b>Desmoldante</b>	Facilita la extracción de la carrocería del molde
<b>Brocha</b>	Para dispersar la resina por toda la fibra de vidrio.

*Nota.* En la tabla 2 se observan los materiales utilizados en la fabricación de la carrocería del prototipo de formula SAE

**Tabla 3**

*Equipo de protección personal para la fabricación de la carrocería de fibra de vidrio.*

Equipo de protección personal
<b>Guantes</b>
<b>Gafas</b>
<b>Overol</b>

---

Equipo de protección personal

---

**Zapatos punta de acero**

---

**Mascarilla**

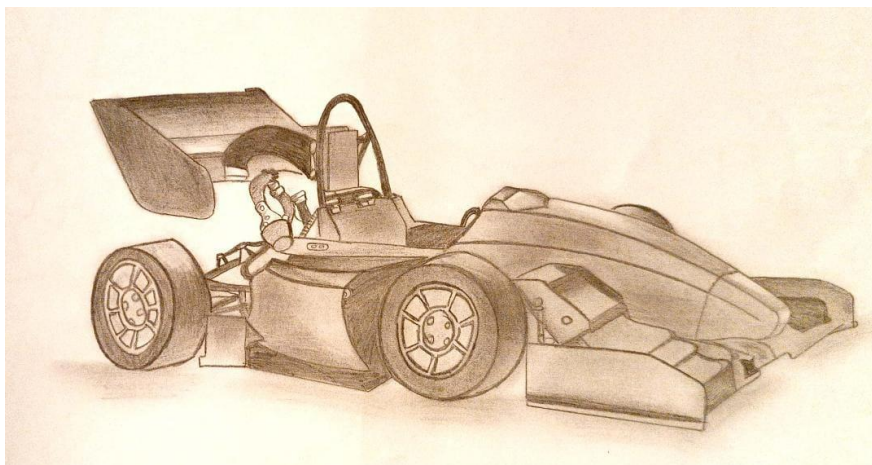
---

*Nota.* En la tabla 3 se presentan el equipo necesario para salvaguardar la integridad física de una persona al momento de construir una carrocería de fibra de vidrio.

### **Procedimiento de la fabricación de la carrocería.**

#### **Figura 20**

*Boceto de la carrocería del formula SAE*



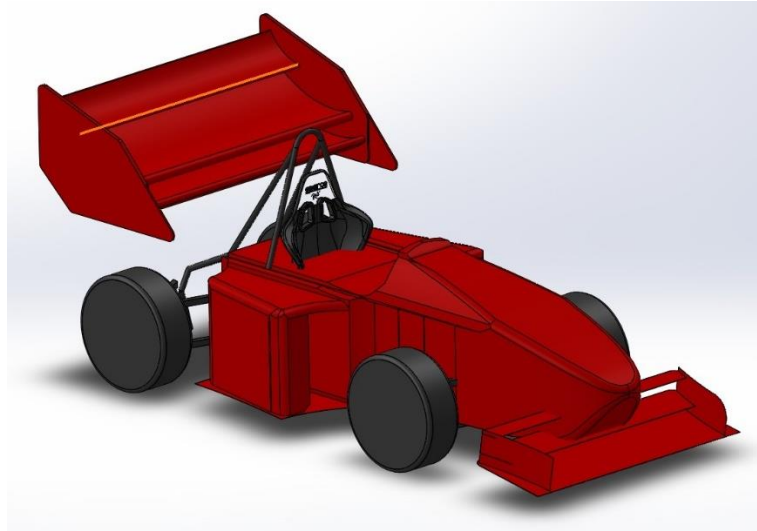
*Nota.* La Figura 20 muestra un boceto a mano de la forma final de la carrocería del automóvil Fórmula SAE.

En la figura 21 se observa el modelado del prototipo de competición formula SAE Eléctrico realizado con el programa de diseño Autodesk Inventor el cual sirvió de guía para la construcción de la carrocería.



**Figura 21**

*Carrocería diseñada en (Software Inventor)*



*Nota.* La imagen que se presenta en la figura 21 es la representación de la carrocería realizada en el programa (Software Inventor).

**Figura 22**

*Fabricación de molde.*



*Nota.* En la figura 22 se muestra el molde que se realizó de cartón para una mayor facilidad a la hora de añadir detalles y formas específicas que requiere la carrocería.

### **Figura 23**

*Proceso de fabricación de la carrocería*



*Nota.* En la figura 23, se aprecia el inicio de la fabricación de la carrocería la parte del capo del vehículo.

### **Proceso de fabricación**

- Consiste en aplicar los refuerzos con resinas y sus respectivos catalizadores mediante moldes, asegurando su compactación y aplicando múltiples capas para lograr la resistencia y rigidez requerida.
- La Figura 23 muestra cómo interactúa la primera capa de fibra con la resina y su catalizador.
- Asegúrese de que el molde esté completamente curado y siga las instrucciones del fabricante para el desmontaje.
- Cuando esté listo, retira el molde con cuidado, empezando por los bordes, moviéndolo

gradualmente si es necesario, utilizando herramientas suaves para no dañar la carcasa.

- Una vez retirados todos los componentes, se retira el material sobrante y se ajusta la carrocería para que encaje perfectamente en el chasis.

Recuerde utilizar siempre equipo de protección personal y seguir las mejores prácticas de seguridad cuando trabaje con materiales como fibra de vidrio y resina.

### **Figura 24**

*Construcción de alerones laterales.*



*Nota.* Luego se forma el molde para empezar el proceso con los alerones laterales del vehículo como se muestra en la figura 24.

Para realizar los moldes se necesita cartón prensado para tener una mayor maleabilidad para obtener un molde con las características necesarias.

**Figura 25**

*Alerón lateral.*



*Nota.* Una vez terminado el molde, se coloca tirar de fibra de vidrio con su respectiva resina. Como se muestra en la figura 25.

Una vez puesta las capas de fibra de vidrio necesarias se deja secar y se le masilla para tener un resultado con una superficie más lisa.

**Figura 26**

*Construcción de la parte frontal de la carrocería.*



*Nota.* En la figura 26 se muestra cómo se fabrica la parte delantera de la carrocería en la cual

se muestra la primera capa de fibra de vidrio con resina y su respectivo catalizado encima del molde previamente realizado para obtener un acabado superficial suave y duradero.

**Figura 27**

*Fabricación del alerón posterior.*



*Nota.* Se muestra el alerón posterior en partes antes de su ensamblado.

**Figura 28**

*Ensamble del alerón posterior.*



*Nota.* Una vez secas las partes se ensambló utilizando fibra de vidrio y resina.

**Figura 29**

*Proceso de masillado y lijado del alerón posterior.*



*Nota.* En la figura 29 se observa el alerón posterior en su proceso final de construcción.

**Proceso**

1. Realizar el molde se puede utilizar diversos materiales como son: madera, poliéster entre otros, en este caso se utilizó cartón prensado.
2. Aplicar desmoldante para quitar el molde de la fibra con mayor facilidad.
3. Cortar láminas de fibra de vidrio de acuerdo con el molde, una vez listo ya cortada se debe colocar encima y recubrirla con resina epoxi o poliéster en este paso se debe verificar que todo ese totalmente pegado sin burbujas de aire ya que podría afectar en los acabados.
4. Aplicar la fibra y la resina las veces necesarias para conseguir la resistencia deseada.
5. Se lo debe dejar reposar el tiempo necesario para que se cure según el fabricante
6. Retirar la pieza del molde una vez que se haya curado totalmente.
7. Recortar el exceso de material que sobresalga de los bordes.
8. Lijar para tener un mejor acabado.

**Figura 30**

*Fabricación de alerón delantero*



*Nota.* En la figura 30 se ve como se está fabricando el alerón delantero aplicando fibra de vidrio con su respectivo catalizador para tener un buen secado y posteriormente un mejor acabado en la carrocería.

**Figura 31**

*Proceso de pintura*



*Nota.* En la figura 31 se puede ver la carrocería terminada y sus colores correspondientes.

### **Proceso de pintura**

- Limpiar bien la superficie con ayuda de un trapo para quitar impurezas.
- Masillar con una espátula si existe alguna rotura o agujero, luego lija para obtener una superficie lisa.
- Cubre las partes que no deseen pintar con masquen.
- Si es necesario, aplique una capa de fondo. El fondo ayuda a mejorar la adhesión de la pintura y es especialmente importante en superficies nuevas o porosas.
- Preparar bien la pintura antes de utilizar, mezcla la pintura con su catalizador según datos del fabricante.
- Aplica la pintura con ayuda de un compresor y una pistola de pintura, revisar que la pistola este en perfecto estado para ir pintando en capas finas y uniformes, asegurándose que no quede marcas.
- Una vez seca la pintura retira el masquen con cuidado
- Si es necesario aplica una capa de pintura transparente brillante para un mejor acabado.

Es importante seguir las instrucciones del fabricante de la pintura y utilizar equipo de protección personal como guantes y mascarillas, especialmente en áreas mal ventiladas o cuando se trabaja con químicos volátiles. Además, asegúrese de trabajar en un área bien ventilada para evitar inhalar los vapores de pintura.



**Figura 32**

*Revisión de piezas de la carrocería.*



*Nota.* Cuando llegó la carrocería revisamos todas las piezas para asegurarnos de que estuvieran en buen estado, algunas tenían rayones, las reparamos con pintura y las limpiamos a fondo antes de comenzar el montaje del bastidor. Como se muestra en la Figura 32.

**Figura 33**

*Montaje de la carrocería*



*Nota.* Se muestra en la figura 33, Cómo se coloca la carrocería sobre el chasis.

### Proceso

- Asegúrate que todos los puntos de montaje deben estar alineados
- Con ayuda de pernos, tornillos, etc. te puedes apoyar con cualquier material de sujeción que puedas en este caso utilizamos (pelapatos) por la parte inferior del chasis se colocó los pelagatos sujetando la carrocería. Para ajustarlos de mejor manera ayúdate de un destornillador.
- En la parte superior de la carrocería se utilizó pernos de cabeza hexagonal para tener una mayor firmeza de la carrocería.

### Figura 34

*Montaje de los amortiguadores*



*Nota.* En la figura 34 se realiza el proceso de armado de amortiguadores de la suspensión.

**Figura 35**

*Montaje de las mesas y ruedas.*



*Nota.* En la figura 35, se muestra cómo se realizó el montaje de las mesas conjuntamente con las ruedas.

**Proceso de montaje de la suspensión**

- Asegúrese de tener toda la herramienta necesaria.
- Se levanta el vehículo puedes ayudarte de una gata hidráulica, en este caso se utilizó bloques para tener nivelado el vehículo para proceder con el montaje de la suspensión.
- Instalar los amortiguadores asegurándose de que estén bien ubicado y con ayuda de una llave o dado para ajustar el perno del mismo.
- Coloca el neumático en los bujes de las ruedas y procede ajustar los pernos con ayuda de una llave, asegúrate que estén bien alineados.
- Realice una inspección final de todos los componentes de la suspensión para asegurarse de que estén instalados de forma adecuada y segura.

**Figura 36**

*Montaje del alerón posterior y delantero.*



*Nota.* En la figura 36 se muestra la carrocería ya con el alerón delantero.

**Para colocar el alerón delantero se realizó el siguiente proceso**

- Se instaló la punta de la carrocería, se sujetó al bastidor con tornillo con cabeza hexagonal
- El alerón se instaló por la parte inferior de la punta, una vez puesto de manera correcta, se sujetó con pernos y tuercas para una mayor seguridad.
- Por último, se revisa que todo esté en orden y bien sujeto.

## Capítulo IV

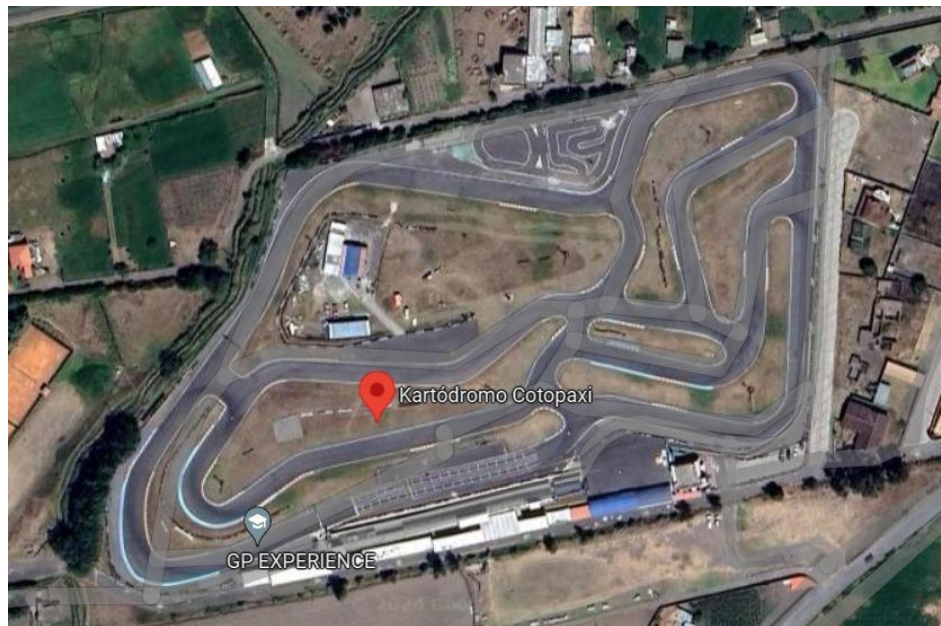
### Pruebas de funcionamiento

#### Trazo de ruta

En la pista del Kartódromo Cotopaxi se realizó las pruebas de funcionamiento

#### Figura 37

*Ruta de pruebas de funcionamiento.*



*Nota.* En la figura 37 se observa la pista en que se realizó las pruebas de funcionamiento.

**Figura 38**

*Realizando pruebas de funcionamiento.*



*Nota.* En la figura 38, se muestra el prototipo en su primera vuelta a la pista de manejo.

**Figura 39**

*Prototipo sobre la pista.*



*Nota.* En la figura 39 el prototipo ya ha dado

**Inspeccion visual.**

Despues de las pruebas realizadas, se realizo una inspeccion visual, revisando si no se presentaron fisuras en la carroceria, ya que eso podria indicar puntos debiles, luego de dicha inspección no se vio ningun desperfecto en la carroceria por lo cual se valido la correcta construccion de la misma.

**Figura 40**

*Prototipo luego de las pruebas de funcionamiento.*



*Nota.* En la figura 40, el prototipo formula SAE en la universidad luego de realizar las pruebas de funcionamiento.

**Pruebas de flexión manual.**

Una vez llego a la universidad el prototipo, se realizó pruebas de resistencia con las manos realizando una presión moderada en diferentes puntos de la carrocería.

A través del sonido que produce la carrocería al momento de presionar se puede comprobar la firmeza de la misma, si produce un sonido solido indica una estructura fuerte, mientras que un sonido sordo indica una estructura débil.

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- En conclusión, el estudio realizado para explorar las fuentes bibliográficas para la implementación de carrocerías livianas en prototipos de autos eléctricos de fórmula SAE brinda una visión integral de los conceptos básicos y las estrategias clave para lograr este objetivo. Al analizar varias fuentes, hemos desarrollado una comprensión profunda de cómo la reducción del peso corporal puede tener un impacto positivo en el rendimiento y la eficiencia generales del vehículo. Además, se determinó que es importante elegir los materiales adecuados y optimizar la aerodinámica para lograr el mejor equilibrio entre seguridad, resistencia y eficiencia.
- El uso de materiales compuestos para crear carrocerías funcionales que cumplan con los requisitos especificados y logren buenos resultados para mejorar su rendimiento ha demostrado ser un aspecto importante de la ingeniería moderna. Los resultados obtenidos destacan la capacidad de los materiales compuestos para proporcionar una menor carga de peso y una menor resistencia, lo que puede mejorar significativamente la eficiencia y el rendimiento del vehículo en la pista.
- A través de una planificación cuidadosa, una ejecución precisa y un análisis detallado de las pruebas en carretera, obtenemos una comprensión más profunda de cómo se realizan los proyectos en la práctica y en qué medida se logran los objetivos establecidos.



## Recomendaciones

- Con base en los resultados de la investigación bibliográfica, se recomienda que el equipo de diseño y desarrollo de autos eléctricos de Fórmula SAE priorice el uso de materiales avanzados y métodos de fabricación innovadores que puedan reducir efectivamente el peso de la carrocería del vehículo. Se recomienda realizar un análisis exhaustivo de los materiales disponibles en el mercado, teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas, durabilidad y coste, para elegir la mejor combinación que garantice la seguridad del conductor y las prestaciones requeridas.
- Sobre la base de estos hallazgos y la experiencia adquirida durante la construcción de cuerpos funcionales, se recomienda centrarse en el desarrollo continuo de materiales compuestos de última generación. Mantenerse al tanto de las últimas innovaciones en materiales y aerodinámica es esencial, ya que estas áreas están en constante evolución y pueden proporcionar importantes ventajas competitivas.
- Se recomienda encarecidamente mantener un enfoque sistemático y estructurado para las pruebas en carretera en proyectos futuros. La recopilación precisa de datos y la implementación de herramientas de registro y análisis son esenciales para evaluar objetiva y cuantitativamente el desempeño del proyecto.

## Bibliografía

- Broncano, M., Alexander, C., Cumbe, S., & Javier, L. (n.d.). *Construir el bastidor y carrocería del prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Caratula.* <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/34288/2/M-ESPEL-MAT-0186.pdf>
- Darío, L., & Rene, E. (2018). Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia Formula SAE eléctrico. *Ups.edu.ec.* <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15150>
- Diseño, T., Construcción, Y., Una, D., De, C., & Vehículo, U. (2015). *DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARÁTULA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ.* <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9415/1/T-ESPEL-MAI-0509.pdf>
- Esteban, G., & Antonio, J. (2016). Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo Formula SAE. *Ups.edu.ec.* <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12033>
- Vinicio, D., & Freire, C. (2016). Diseño y construcción del piso (fondo plano con difusores) para un vehículo de competencia tipo fórmula "SAE" en fibra natural para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. *Epoch.edu.ec.* <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/5167>

## Anexos